



МАТЕРИАЛЫ
всероссийской научно-практической
интернет-конференции молодых ученых
и специалистов Роспотребнадзора
с международным участием

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2025

17–19
сентября
2025 г.
г. Пермь



Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав
потребителей и благополучия человека
Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр
медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека
Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека по Пермскому краю

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2025

Материалы
всероссийской научно-практической интернет-конференции
молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с
международным участием

(Пермь, 17–19 октября 2025 г.)

*Под редакцией д-ра мед. наук, профессора А.Ю. Поповой,
д-ра мед. наук, профессора, академика РАН Н.В. Зайцевой*

Пермь 2025

УДК 614
ББК 51.1
П58

П58 **Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2025:** материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: ООО «Издательский дом «Типография купца Тарасова», 2025. – 344 с.
ISBN 978-5-91437-193-4

Материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2025» отражают современные подходы к обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия и охраны здоровья населения Российской Федерации.

В год 30-летнего юбилея ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» в сборнике представлены результаты исследований, демонстрирующие вклад молодого научного сообщества в развитие теории и практики анализа риска здоровью.

Особое внимание уделено фундаментальным и прикладным аспектам оценки и управления рисками при воздействии физических, химических и биологических факторов среды обитания.

Отражены результаты комплексных исследований качества атмосферного воздуха, питьевой воды, пищевой продукции и других компонентов окружающей среды с учетом региональной специфики. Рассмотрены современные молекулярно-генетические, химико-аналитические и биохимические методы мониторинга, вопросы здоровья детей и подростков, а также профилактики профессиональных заболеваний и укрепления здоровья работающих.

Отдельные разделы посвящены совершенствованию системы социально-гигиенического мониторинга и практике реализации национальных проектов. Представлены исследования, направленные на повышение эффективности управленческих решений, внедрение цифровых технологий, математического моделирования и искусственного интеллекта для прогнозирования санитарно-эпидемиологических рисков и поддержки принятия решений.

В сборнике приведены материалы, посвященные вопросам здоровья детей и подростков в условиях трансформации образовательной среды и образа жизни, влиянию факторов учебного процесса и городской среды на показатели физического и психического развития.

В материалах конференции представлены методические подходы к профилактике профессиональных и профессионально обусловленных заболеваний, связанных с влиянием факторов производственной среды. Освещены современные методы диагностики, коррекции и профилактики нарушений здоровья, ассоциированных с факторами среды обитания.

Рассмотрены вопросы применения информационных технологий и математического моделирования в области гигиены и эпидемиологии, исследованы инфекционные риски здоровью и модифицирующие факторы.

В материалах представлены предложения по повышению эффективности управленческих решений и профилактических мероприятий.

Опубликованные работы демонстрируют научный потенциал молодых специалистов, их активное участие в решении приоритетных задач Роспотребнадзора, а также отражают взгляд и позицию молодых ученых на актуальные вопросы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и пути их решения.

Редакционная коллегия:

д-р мед. наук, проф. А.Ю. Попова, д-р мед. наук, проф., акад. РАН Н.В. Зайцева,
д-р биол. наук, проф. И.В. Май, д-р мед. наук, доцент К.П. Лужецкий,
к.м.н. К.В. Четверкина

УДК 614
ББК 51.1

ISBN 978-5-91437-193-4

© «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2025
© Оформление. ООО «Издательский дом «Типография купца Тарасова», 2025

Организационный комитет конференции

Председатель:

Попова Анна Юрьевна	Руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Заместители председателя:

Алексеев Вадим Борисович	Директор ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Зайцева Нина Владимировна	Научный руководитель ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Летушев Александр Николаевич	Заместитель руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Члены организационного комитета:

Кириянов Дмитрий Александрович	Заведующий отделом математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Ли Ти Хонг Хао	Директор Национального института контроля пищевой продукции (г. Ханой, СРВ) (по согласованию)
Лужецкий Константин Петрович	Заместитель директора по организационно-методической работе ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Май Ирина Владиславовна	Научный советник директора ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Мелентьев Андрей Владимирович	Председатель Совета молодых ученых и специалистов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
Цинкер Мария Михайловна	Заведующий отделением научной и патентной информации ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Четверкина Кристина Владимировна	Председатель Объединенного совета молодых ученых и специалистов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю, Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Саратовской области, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Саратовской области»

Технический секретариат конференции:

Алексеева Алла Вадимовна	Редактор ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Сергеева Елена Васильевна	Заведующий отделением внешних связей и международных отношений ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»

Раздел I

**Социально-гигиенический
мониторинг, цифровизация
и моделирование: современные
методы и практическое
применение для обеспечения
санитарно-эпидемиологического
благополучия населения**

Мониторинг атмосферного воздуха как индикатор достижения целевых показателей ФП «Чистый воздух»

А.В. Воронова

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана»,
г. Мытищи, Россия

Снижение качества атмосферного воздуха городов с развитой промышленностью и, как следствие, связанное с ним состояние здоровья населения требует разработки и реализации мер, направленных на снижение совокупного объема выбросов опасных загрязняющих веществ, предусмотренных ФП «Чистый воздух». С 2017 г. на территории городов-участников ФП «Чистый воздух» реализуется эксперимент по квотированию выбросов атмосферных загрязнений. На примере четырёх городов (Омск, Липецк, Череповец и Новокузнецк) показано, что результаты мониторинга атмосферного воздуха, осуществляемого на территориях эксперимента с 2020 г., являются индикаторами достижения целевых показателей ФП «Чистый воздух».

Ключевые слова: промышленные города, атмосферные загрязнения, мониторинг, гигиеническая оценка, оценка риска.

Мониторинговые исследования в четырёх городах-участниках ФП «Чистый воздух» (Омск, Липецк, Череповец, Новокузнецк) в 2020–2024 гг. показали, что качество атмосферного воздуха, как и в других городах эксперимента, зависит от особенностей зонирования городской территории, степени развития основных отраслей промышленности, транспортной нагрузки, уровня развития городского теплоснабжения и используемого топлива [1].

В основу градации российских промышленных городов по уровню загрязнения атмосферного воздуха положена величина комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитываемая по среднегодовым концентрациям на постах Росгидромета, а также показатели стандартного индекса (СИ) и наибольшей повторяемости превышения ПДК (НП), характеризующие кратковременное воздействие. Согласно РД 52.04.667-2025¹ выделяются 4 категории качества атмосферного воздуха, что соответствует низкому, повышенному, высокому и очень высокому уровню загрязнения. Такой подход использовался для отбора городов-участников ФП «Чистый воздух». Так, по данным ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» [2], за базовый 2017 г. показатель качества атмосферного воздуха в г. Омске был на низком уровне, в г. Липецке и г. Череповце – на повышенном уровне, в г. Новокузнецке – на очень высоком уровне.

Проведение сопоставления оценочных критериев, основанных на величинах ПДК в атмосферном воздухе двух мониторинговых систем Роспотребнадзора и

¹ РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. – 52 с.

Росгидромета в городах эксперимента, послужит более надежным обоснованием для принятия управленческих решений о достаточности природоохранных мероприятий с позиций сохранения здоровья населения.

Наглядным показателем качества атмосферного воздуха промышленного города является значительный вклад факторов окружающей среды в ухудшение здоровья населения, достигающий до 40–60 %. Основным показателем улучшения качества атмосферного воздуха, влияющего на здоровье населения, будет достигнут путем сокращения валового выброса загрязняющих веществ [3, 4].

Далее более детально рассмотрены основные критерии эффективности и результативности мероприятий, направленные на улучшение качества атмосферного воздуха в городах-участниках ФП «Чистый воздух», курируемых ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора на основе выполнения в 2020–2024 гг. гигиенической оценки с учетом СанПиН 1.2.3685-21¹ и расчета рисков здоровью населения согласно Руководству Р 2.1.10.1920-04² и Руководству Р 2.1.10.3968-23³.

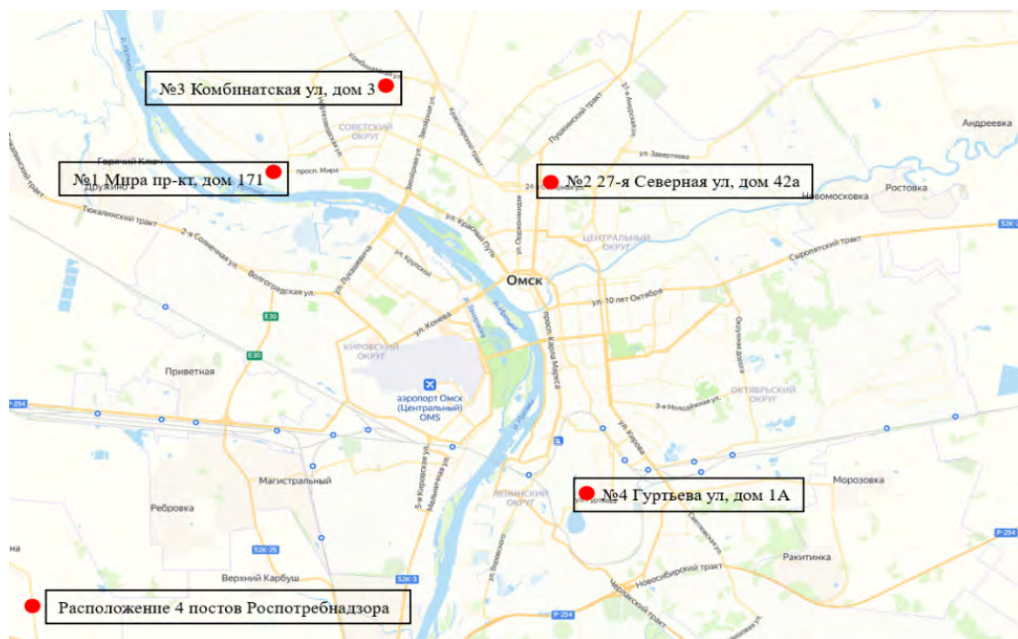


Рис. 1. Расположение постов СГМ Роспотребнадзора в г. Омске в 2020–2024 гг.

¹ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2.

² Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

³ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М., 2023.

Омск является одним из городов-миллионников России. По данным, представленным в статье [5], с 2018 г. наблюдается естественная убыль населения, на которую влияет смертность, а смертность в свою очередь зависит от качества среды обитания человека, в том числе загрязнения атмосферного воздуха.

По результатам гигиенической оценки в г. Омске за период 2020–2024 гг. по данным постов СГМ Роспотребнадзора (рис. 1), по приоритетным веществам отмечены следующие тенденции:

- для большинства мониторируемых в атмосферном воздухе на постах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Омской области» приоритетных загрязняющих веществ, в том числе подлежащих квотированию выбросов, прослеживается тенденция к снижению разовых, среднесуточных и годовых концентраций;

- рост значений разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций отмечается для бензола, диоксида серы, диоксида азота и бенз(а)пирена.

Превышение гигиенических нормативов в 2024 г. отмечается для:

- а) максимально разового содержания диоксида серы по городу (до 1,14 ПДК_{м.р.});

- б) среднесуточного содержания диоксида серы по городу (до 1,17 ПДК_{с.с.}), бенз(а)пирена на 1 посту (до 26,8 ПДК_{с.с.});

- в) среднегодового содержания по городу бенз(а)пирена (до 1,79 ПДК_{с.г.}), бензола (до 5,16 ПДК_{с.г.}).

На конец 2024 г. общегородскими приоритетами, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов в атмосферном воздухе, являются диоксид серы, бенз(а)пирен, бензол.

Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха показала общее снижение концентраций большинства загрязняющих веществ. Вместе с тем для ряда приоритетных компонентов, включая бензол, диоксид серы, диоксид азота и бенз(а)пирен, выявлена отрицательная динамика, что свидетельствует о необходимости усиления контроля за выбросами и реализации целевых мер по их сокращению.

По данным мониторинговых исследований по приоритетным веществам в г. Омске были проведены расчеты риска здоровью населения. Из-за отсутствия необходимого числа значимых измерений (5 % и более) оценка риска не проводилась для следующих веществ: в 2020 г. – диоксид серы; в 2024 г. – дигидросульфид (2–4 пост), диоксид серы, углерод, хром (VI).

Показатель суммарного канцерогенного риска по г. Омску понизился в 14 раз с 2,72E-03 в 2020 г. до 1,94E-04 в 2024 г., с высокого до настораживающего уровня риска. Такое снижение связано с тем, что в оценку риска в 2024 г. не вошли два вещества – углерод и хром (VI) оксид, которые в 2020 г. вносили 95 % вклада в суммарный риск.

Уровень неканцерогенного риска по приоритетным веществам в целом по городу при хроническом воздействии атмосферных загрязнений (НҚ) в 2020 г., по отношению к 2024 г., у бензола остался на высоком уровне риска с тенденцией к увеличению, у бенз(а)пирена остался на настораживающем уровне риска, у диоксида азота остался на допустимом уровне риска. У остальных неканцерогенов из-за отсутствия 5 % и более значимых измерений в 2024 г. оценка риска не проводилась, в связи с чем нет возможности сопоставить данные.

При длительном ингаляционном воздействии загрязняющих веществ нарастающий уровень риска нарушения здоровья населения как в 2020 г., так и в 2024 г. отмечен в отношении болезней системы крови ($HI = 5,7$) с тенденцией к увеличению уровня риска, а иммунной системы ($HI = 5,2$) – с тенденцией к уменьшению. Также нарастающий уровень риска в 2020 г. был выявлен по влиянию на болезни органов дыхания ($HI = 4,8$) и снизился до минимального ($HI = 1,8$) в 2024 г. Значения уровня риска к 2024 г. остались неизменными по влиянию на болезни нервной системы ($HI = 1,3$) и развитие ($HI = 1,9$) с незначительным колебанием.

В связи с отсутствием показателя HQ по большинству из веществ, не прошедших рубеж в 5 % значимых измерений в 2024 г., показатель суммарного влияния на органы и системы очень снизился или остался на том же уровне, что не отражает достоверно ситуацию.

По данным Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, число городских жителей Липецкой области, испытывающих воздействие высокого и очень высокого загрязнения воздуха по состоянию на 1 января 2024 г., составляет 71 % [2].

По результатам гигиенической оценки в г. Липецке за период 2020–2024 гг. по данным постов СГМ Роспотребнадзора (рис. 2), по приоритетным веществам отмечены следующие тенденции:

- для большинства приоритетных загрязняющих веществ, мониторируемых в атмосферном воздухе на постах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Липецкой области», в том числе подлежащих квотированию выбросов, прослеживается тенденция к снижению разовых, среднесуточных и годовых концентраций;
- рост значений разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций отмечается для трех компонентов выбросов – диоксида серы, бензола и углерода.

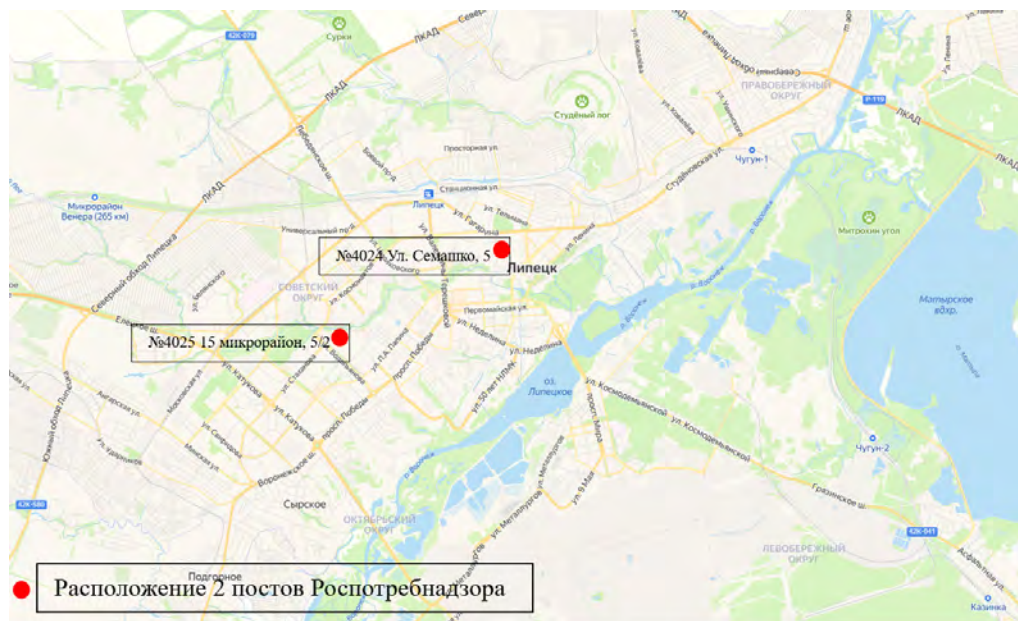


Рис. 2. Расположение постов СГМ Роспотребнадзора в г. Липецке в 2020–2024 гг.

Превышение гигиенических нормативов в 2024 г. отмечается только для среднесуточного содержания диоксида серы как на постах 4024 (до 1,4 ПДКс.с.) и 4025 (до 1,2 ПДКс.с.), так и в целом по городу (до 1,3 ПДКс.с.). Превышений гигиенических нормативов данных компонентов в 2020 году не отмечалось.

На конец 2024 г. общегородским приоритетом, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов (ПДКс.с.), является диоксид серы.

По данным мониторинговых исследований в г. Липецке были проведены расчеты риска здоровью населения по приоритетным веществам. В оценку риска, из-за отсутствия нужного количества значимых измерений (5 % и более), не вошли следующие вещества: в 2020 г. – акролеин, ацетальдегид, бута-1,3-диен, взвешенные вещества, оксид углерода, углерод, свинец, дигидросульфид, гидроксibenзол, формальдегид, хром (VI), гидроцианид; в 2024 г. – диоксид азота, оксид азота, акролеин, аммиак, бута-1,3-диен, взвешенные вещества, диоксид серы, озон, оксид углерода, углерод, дигидросульфид, гидроксibenзол, формальдегид.

Показатель суммарного канцерогенного риска по г. Липецку повысился в 1,62 раза с $2,59E-05$ в 2020 г. до $4,33E-05$ в 2023 г., понизился в 1,6 раза в 2024 г. до $1,11E-05$, но так и остался на настораживающем уровне.

Уровень неканцерогенного риска по приоритетным веществам в целом по городу при хроническом воздействии атмосферных загрязнений (НҚ) в 2020 г., по отношению к 2024 г., у бензола остался на допустимом уровне риска, у диАлюминий триоксида снизился в лучшую сторону с допустимого до минимального уровня риска. Показатель неканцерогенного уровня у марганца в 2020 г. находился на высоком уровне. Большинство из веществ не прошло по критерию 5 % и более значимых измерений, в связи с чем оценка риска по ним не проводилась.

При длительном ингаляционном воздействии загрязняющих веществ минимальные риски нарушения здоровья населения на конец 2024 г. отмечены в отношении болезней сердечно-сосудистой системы, системе развития, центральной нервной системе и иммунной системе со значением $HI = 0,3$, в то же время это значение снизилось относительно 2020 г. по влиянию на болезни системы крови ($HI = 5,4$) и иммунной системе ($HI = 5,4$). В связи с отсутствием показателя НҚ по большинству из веществ, не прошедших рубеж в 5 % значимых измерений в 2024 г., показатель суммарного влияния на органы и системы очень снизился, что не отражает достоверно ситуацию.

По данным, представленным Б.А. Ревичем и соавт., г. Липецк является наиболее «чистым» по качеству атмосферного воздуха, поскольку имеет минимальные показатели стандартизированных коэффициентов смертности от болезней органов дыхания по сравнению с другими городами ФП «Чистый воздух». Это связано с расположением города в европейской части страны, где чаще наблюдаются благоприятные природно-климатические и ландшафтные условия и отсутствуют экстремально высокие концентрации канцерогенов в воздухе [6].

В городе наблюдается положительная динамика в снижении как канцерогенных, так и неканцерогенных рисков, однако их уровень остаётся в зоне потенциального неблагополучия. Сохраняется повышенный риск по отдельным веществам, что требует адресных мер по минимизации их воздействия на население.

По данным Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, число городских жителей Вологодской области, испытывающих воздействие высокого и

очень высокого загрязнения воздуха по состоянию на 1 января 2024 г., составляет 38 %. В 2022 г. Череповец попал в список самых грязных городов России. Наибольший вклад в общий объем выбросов вносят следующие вещества: марганец, формальдегид, сероуглерод, взвешенные вещества, приземный озон [2].

По результатам гигиенической оценки в г. Череповце за период 2020–2024 гг. по данным постов СГМ Роспотребнадзора (рис. 3), по приоритетным веществам отмечены следующие тенденции:

- для большинства из мониторируемых в атмосферном воздухе на постах ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области» приоритетных загрязняющих веществ, в том числе подлежащих квотированию выбросов, прослеживается тенденция к снижению разовых, среднесуточных и годовых концентраций;

- рост значений разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций отмечается для нафталина, бенз(а)пирена, диЖелезо триоксида, оксид хрома(VI).

Превышение гигиенических нормативов в 2024 г. отмечается для:

а) максимально разового содержания в целом по городу нафталина (до 1,03 ПДКм.р.);

б) для среднесуточного содержания в целом по городу бенз(а)пирена (до 22,2 ПДКс.с), диЖелезо триоксида (до 1,2 ПДКс.с), хром(VI) оксида (до 1,1 ПДКс.с).

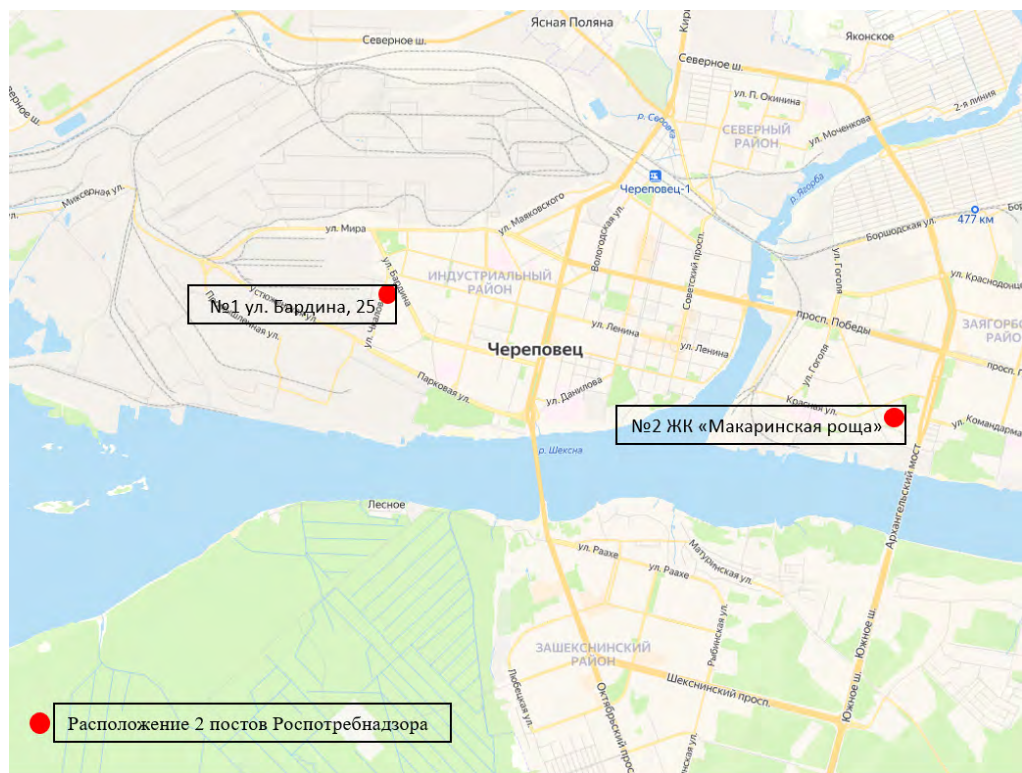


Рис. 3. Расположение постов СГМ Роспотребнадзора в г. Череповце в 2020–2024 гг.

На конец 2024 г. общегородскими приоритетами, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов в атмосферном воздухе, являются: нафталин, бенз(а)пирен, диЖелезо триоксид, оксид хрома(VI).

По данным мониторинговых исследований по приоритетным веществам в г. Череповце были проведены расчеты риска здоровью населения по приоритетным веществам. В оценку риска, из-за отсутствия нужного количества значимых измерений (5 % и более), не вошли следующие вещества: в 2020 г. – ацетальдегид, акролеин, бензол, нафталин, свинец, фтористые газообразные соединения, этилбензол, керосин; в 2024 г. – диоксид азота, дигидросульфид, марганец, нафталин, никеля оксид, пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния (70–20 %), пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния (менее 20 %), диоксид серы, свинец, серная кислота, углерод, формальдегид.

Показатель суммарного канцерогенного риска по г. Череповцу понизился в 3 раза с $1,1 \times 10^{-2}$ в 2020 г. до $3,7 \times 10^{-3}$ в 2024 г., но так и остался на высоком уровне.

Уровень неканцерогенного риска по приоритетным веществам в целом по городу при хроническом воздействии атмосферных загрязнений (HQ) в 2020 г. у оксида никеля, марганца и оксида хрома(VI) был на высоком уровне. В 2024 г. из-за отсутствия нужного количества значимых измерений (5 % и более) у большинства приоритетных веществ, в том числе у марганца и оксида никеля, оценка риска не проводилась. Значение неканцерогенного риска у оксида хрома(VI) снизилось в 3 раза, но так и осталось на высоком уровне. Уровень неканцерогенного риска у бенз(а)пирена как в 2020 г., так и в 2024 г. был на допустимом уровне, но была тенденция к снижению в 2024 г.

При длительном ингаляционном воздействии загрязняющих веществ высокие риски нарушения здоровья населения отмечены в отношении болезней органов дыхания (HI = 61,5), крови (HI = 51,5), центральной нервной системы (HI = 51,5), иммунной системы (HI = 52,2), развития рака (HI = 61,8) в 2020 г., в то же время к 2024 г. произошло снижение до настораживающего уровня в отношении системы органов дыхания (HI = 3,3), развития рака и до минимального уровня риска по иммунной системе (HI = 1,0) и развитию (HI=1,0). Такое резкое снижение уровня риска связано с отсутствием показателя HQ по большинству из веществ, не прошедших отбор в 5 % значимых измерений в 2024 г., показатель суммарного влияния на органы и системы очень снизился, что не отражает достоверно ситуацию.

Отмечено существенное снижение канцерогенного риска, однако его уровень по-прежнему оценивается как высокий. Неканцерогенные риски, связанные с воздействием соединений хрома(VI), марганца и оксида никеля, превышают допустимые значения, что обуславливает необходимость модернизации технологических процессов металлургического производства.

В связи с наличием в районе г. Новокузнецка большого количества полезных ископаемых и заводов по их реализации, работы в которых ведутся непрерывно, большинство населения подвержено выбросам опасных загрязняющих веществ, так как проживает и работает в зоне воздействия [7]. По данным Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, число городских жителей Кемеровской области – Кузбасса, испытывающих воздействие высокого и очень высокого загрязнения воздуха по состоянию на 1 января 2024 г., составляет 49 %. Город Новокузнецк попал в список наиболее загрязненных городов России за 2019 г. и 2022 г. с показателем

индекса загрязнения атмосферы (ИЗА) 14 и более. Наибольший вклад в общий объем выбросов вносят следующие вещества: бенз(а)пирен, формальдегид, взвешенные частицы $PM_{2.5}$ и PM_{10} , взвешенные вещества [8].

Основной вклад в объемы выбросов загрязняющих веществ в Новокузнецком муниципалитете вносит метан (более 50 % от общего вклада загрязняющих веществ) в связи со спецификой промышленности в данном регионе (угледобыча) [9]. По данным Росгидромета, уровень загрязнения в Новокузнецком г.о. в 2024 г. оценивался как очень высокий, по отношению к прошлому 2023 г. уровень не изменился.

По результатам гигиенической оценки в г. Новокузнецке за период 2020–2024 гг. по данным постов СГМ Роспотребнадзора (рис. 4), по приоритетным веществам отмечены следующие тенденции: рост значений разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций отмечается для диоксида азота, формальдегида, углерода, дигидросульфида, диоксида серы – по городу. Превышение гигиенических нормативов в 2024 г. отмечается:

а) для максимально разового содержания в целом по городу диоксида азота (до 3,38 ПДКм.р.), дигидросульфида (до 2,05 ПДКм.р.), углерода (до 1,85 ПДКм.р.), формальдегида (до 2,32 ПДКм.р.);

б) для среднесуточного содержания в целом по городу диоксида азота (до 1,25 ПДКс.с.), диоксида серы (до 2,31 ПДКс.с.), углерода (до 3,03 ПДКс.с.), формальдегида (до 2,74 ПДКс.с.);

в) для среднегодового содержания формальдегида по городу (до 1,41 ПДКс.г.).

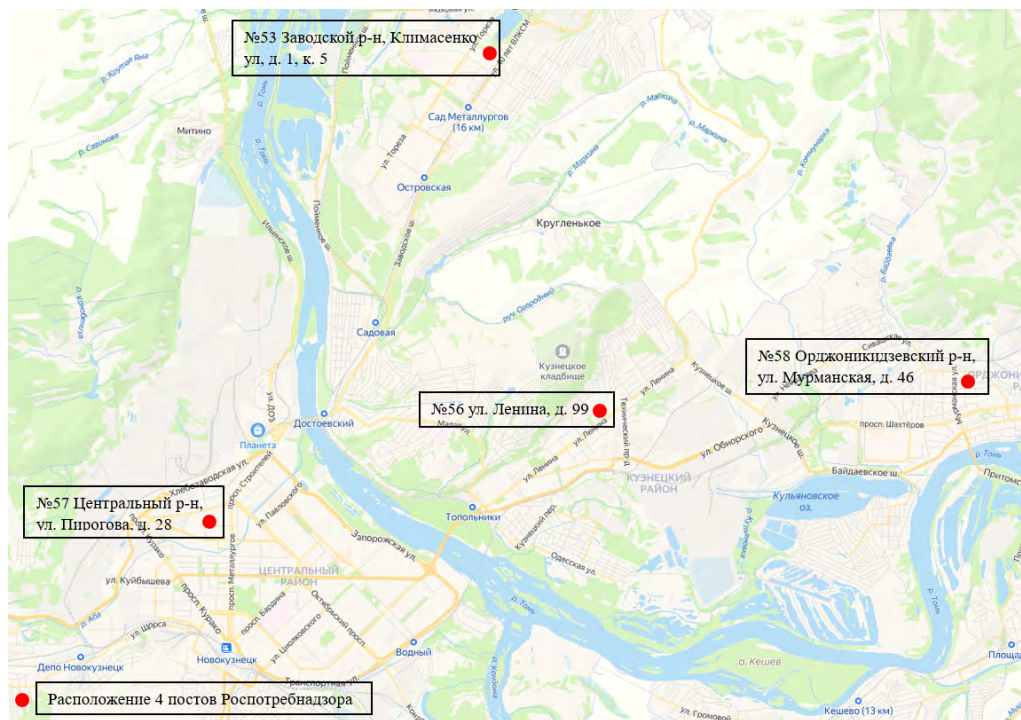


Рис. 4. Расположение постов СГМ Роспотребнадзора в г. Новокузнецке в 2020–2024 гг.

На конец 2024 г. общегородскими приоритетами, определенными по критериям превышения гигиенических нормативов в атмосферном воздухе, являются: диоксид азота, дигидросульфид, углерод, формальдегид, диоксид серы.

По данным мониторинговых исследований в г. Новокузнецке были проведены расчеты риска здоровью населения. В оценку риска, из-за отсутствия нужного количества значимых измерений (5 % и более), не вошли следующие вещества: в 2020 г. – гидроцианид, марганец, нафталин; в 2024 г. – аммиак, гидроксibenзол, ди-Алюминий триоксид, марганец, нафталин. Показатель суммарного канцерогенного риска по г. Новокузнецку снизился с $3,01E-04$ в 2020 г. до $1,91E-04$ в 2024 г., но так и остался настораживающем уровне.

Уровень неканцерогенного риска по приоритетным веществам в целом по городу при хроническом воздействии атмосферных загрязнений (НҚ) в 2020 г., по отношению к 2024 г., у бенз(а)пирена, формальдегида и дигидросульфида остался на настораживающем уровне риска, у диоксида азота снизился с настораживающего до минимального уровня риска.

При длительном ингаляционном воздействии загрязняющих веществ недопустимые (настораживающие) риски нарушения здоровья населения на конец 2024 г. отмечены в отношении болезней органов дыхания (НІ = 4,2), в то же время это значение снизилось относительно 2020 г. (НІ = 7,0). Для суммарного влияния на системы крови и развития был характерен высокий уровень риска в 2020 г. (НІ = 5,2 и НІ = 6,9 соответственно), но он также снижался к 2024 г. до настораживающего уровня (НІ = 4,6 и НІ = 5,4 соответственно), для сердечно-сосудистой и центральной нервной систем в 2020 г. характерен настораживающий уровень риска с одинаковыми значениями для указанных выше систем (НІ = 5,0), значения неканцерогенного риска снизились к 2024 г. (НІ = 4,2), но уровень риска остался такой же настораживающий.

Зафиксировано уменьшение уровней как канцерогенного, так и неканцерогенного воздействия, однако показатели сохраняются на настораживающем уровне. Наибольший вклад в формирование рисков вносят загрязняющие вещества, влияющие на органы дыхания, систему кроветворения и развитие, что требует приоритетного внимания при разработке программ по улучшению качества атмосферного воздуха.

Заключение. Сравнительный анализ четырех промышленных городов показал, что, несмотря на положительную динамику в снижении уровней приоритетных загрязняющих веществ и связанных с ними канцерогенных и неканцерогенных рисков в 2020–2024 гг., во всех случаях сохраняются показатели, выходящие за пределы допустимых (приемлемых) уровней рисков здоровью населения. В оцениваемых городах наибольшие превышения фиксируются по веществам, характерным для металлургических и химических производств, а также по соединениям, оказывающим влияние на дыхательную систему, систему кроветворения и развитие.

Выполнение мероприятий по сокращению выбросов в атмосферу, реализуемых в рамках федерального проекта «Чистый воздух», в сочетании с усовершенствованной системой наблюдений за состоянием воздушной среды – изменением программы мониторинга, а также подходов к измерению ряда веществ, которые не проходят отбор для дальнейшей оценки рисков здоровью населения в 5 % значимых измерений, позволит объединить ресурсы промышленности и бюджетов разных уровней, что создаст условия для улучшения качества атмосферного воздуха [10].

Полученные результаты подтверждают необходимость продолжения мероприятий по сокращению выбросов, модернизации производства и оптимизации регулярного мониторинга.

В данном случае достижение допустимого (приемлемого) уровня риска служит индикатором достаточности применяемых мер и управленческих решений по снижению выбросов в атмосферный воздух до целевых показателей, предусмотренных ФП «Чистый воздух».

Список литературы

1. Зайцева Н.В., Май И.В. Основные итоги, перспективы применения и совершенствования оценки риска здоровью населения сибирских городов-участников проекта «Чистый воздух» (Братск, Норильск, Красноярск, Чита) // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 5. – С. 519–527.
2. Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс] // ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». – URL: <http://voeikovmgo.ru/index.php?id=681%26lang=ru> (дата обращения: 04.08.2025).
3. Динамика показателей риска для здоровья населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха промышленного центра / В.В. Кислицына, Д.В. Суржиков, Ю.С. Ликонцева, В.А. Штайгер // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 4. – С. 358–364.
4. Зайцева Н.В., Май И.В. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 1. – С. 4–12. DOI: 10.21668/health.risk/2023.1.01
5. Пузырёв Л.В., Пузырева В.А. Атмосферные выбросы продуктов промышленного производства как риск развития заболеваний омичей // Национальные приоритеты России. – 2021. – № 2. – С. 64–69.
6. Ревич Б.А., Харькова Т.Л., Кваша Е.А. Некоторые показатели здоровья жителей городов федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 2. – С. 16–27. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.02
7. Сравнительная оценка риска нарушения здоровья населения двух промышленных центров Кузбасса от воздействия атмосферных загрязнений / В.В. Кислицына, Ю.С. Ликонцева, Д.В. Суржиков, Р.А. Голиков // Медицина труда и промышленная экология. – 2023. – Т. 63, № 7. – С. 468–473.
8. Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха [Электронный ресурс] // ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова». – 2022. – URL: <http://voeikovmgo.ru/index.php/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=1148> (дата обращения: 04.08.2025).
9. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2024 году [Электронный ресурс]. – URL: https://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2025/04/doklad_v1.pdf (дата обращения: 04.08.2025).
10. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила) / В.Б. Гурвич, Д.Н. Козловских, И.А. Власов, И.В. Чистякова, С.В. Ярушин, А.С. Корнилков, Д.В. Кузьмин, О.Л. Малых, Н.И. Кочнева, А.А. Шевчик, Т.М. Цепилова, Е.А. Кузьмина // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 9. – С. 38–47.

Нейросетевое моделирование как актуальное направление совершенствования аналитического обеспечения социально-гигиенического мониторинга

О.А. Нестерова

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,
г. Ростов-на-Дону, Россия

Настоящее исследование посвящено решению актуальной задачи интеграции наукоемких аналитических технологий, инструментов прогнозирования и ситуационного моделирования в практику социально-гигиенического мониторинга. Целью работы являлась апробация применения нейросетевого моделирования для прогнозирования заболеваемости населения злокачественными новообразованиями, зарегистрированной среди жителей города Таганрога Ростовской области за 39-летний период, с применением рекуррентных нейронных сетей типа LSTM (Long Short-Term Memory), реализованных в среде Matlab2024b с использованием пакета Deep Learning Toolbox. По результатам исследования установлено, что прогнозные значения, полученные в результате нейросетевого моделирования, демонстрируют высокую точность и эффективность применения апробированной нейронной сети для целей проспективного анализа заболеваемости населения.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, искусственная нейронная сеть, временные ряды, прогнозирование, социально-гигиенический мониторинг, злокачественные новообразования

В индустриально развитых городах и регионах РФ нарастание антропогенной техногенной нагрузки вызывает деградацию природной окружающей среды в целом и среды обитания, что негативно сказывается на популяционном здоровье населения. Это выражается в ухудшении медико-демографического статуса и увеличении распространенности экологически зависимых и социально значимых заболеваний.

К числу высокоинформативных параметров, характеризующих состояние здоровья населения на популяционном уровне, традиционно относятся онкологические заболевания. Экологическая зависимость ряда нозологических форм и локализаций злокачественных новообразований (ЗН) подтверждается результатами многочисленных исследований по изучению особенностей формирования онкологической заболеваемости в различных группах населения [1–3]. Успешное решение задач управления гигиенической ситуацией требует повышения обоснованности и результативности управленческих решений оздоровительного и профилактического характера, что обуславливает необходимость совершенствования методологической базы информационно-аналитического обеспечения социально-гигиенического мониторинга (СГМ) [4–5].

«Концепция развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года»¹ как приоритетное направление деятельности предусматривает внедрение и развитие наукоемких технологий аналитических исследований, оценки риска здоровью², методов прогнозирования и моделирования [6–7].

При прогнозировании временных рядов широкое применение находят нейросетевые модели различных архитектур [8–10]. Так, рекуррентные нейронные сети типа LSTM (Long Short-Term Memory) глубокого обучения, обладая долгой и краткосрочной памятью, точнее выявляют паттерны временных рядов и эффективно прогнозируют их будущие тенденции [11–12].

Нейросетевое моделирование может стать перспективным инструментом для совершенствования аналитического обеспечения гигиенических и эпидемиологических исследований в рамках СГМ. Наряду с классическими статистическими методами, оно позволяет решать задачи прогнозирования, классификации, детекции аномалий и декомпозиции временных последовательностей.

Цель работы – апробация применения нейросетевого моделирования для прогнозирования заболеваемости населения города Таганрога злокачественными новообразованиями.

Материалы и методы. В настоящем исследовании применены данные отчетных форм № 35 «Сведения о больных злокачественными новообразованиями» за 1984–2015 гг. (корректированные с учетом базы данных онкорегистра) и № 7 «Сведения о злокачественных новообразованиях» за 2016–2024 гг. по г. Таганрогу Ростовской области с населением около 250 тыс. человек. Анализ многолетней динамики и прогнозирование одномерных временных рядов, представленных статистическими данными об онкологической заболеваемости, выполнены с применением рекуррентных нейронных сетей типа LSTM (Long Short-Term Memory), реализованных в среде Matlab2024b с использованием пакета Deep Learning Toolbox.

Результаты. Анализ отчетных форм определил крайне неблагоприятную ситуацию по частоте ЗН, зарегистрированных среди жителей города Таганрога Ростовской области. При этом стабильно неблагоприятная ситуация отмечена по заболеваемости ЗН желудка, ободочной и прямой кишки, молочной и предстательной железы. В 2018–2022 гг. обращает на себя внимание относительное неблагополучие по ЗН трахей, бронхов и легкого.

Установлено, что динамике заболеваемости ЗН за 1984–2022 гг. свойственна устойчивая тенденция к росту. Так, частота ЗН в 2017 г. превышает показатель 1986 г. в 2,06 раза, а ее тенденция за 2008–2022 гг. характеризуется среднегодовым темпом прироста +0,09 %. Вероятной причиной снижения регистрации ЗН в 2019–2021 гг. являются неблагоприятные условия для диагностической деятельности медицинских организаций в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 (рис. 1).

¹ Об утверждении концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года: Приказ руководителя Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) от 26.08.2019 № 665. – М., 2019. – 27 с.

² Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания / утв. Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения от 5 сентября 2023 г. [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 18.03.2025).

Ретроспективный анализ выявил статистически значимый восходящий тренд заболеваемости немеланомным раком кожи на протяжении 40-летнего периода наблюдения. За исследуемый период абсолютные значения возросли в 2,7 раза – с минимального уровня 42,2 (на 100 тыс. населения) в 1986 г. до исторического максимума 113,1 (на 100 тыс. населения) в 2023 г. Кумулятивный рост составил 168,2 % относительно исходного уровня 1984 г. (рис. 2).

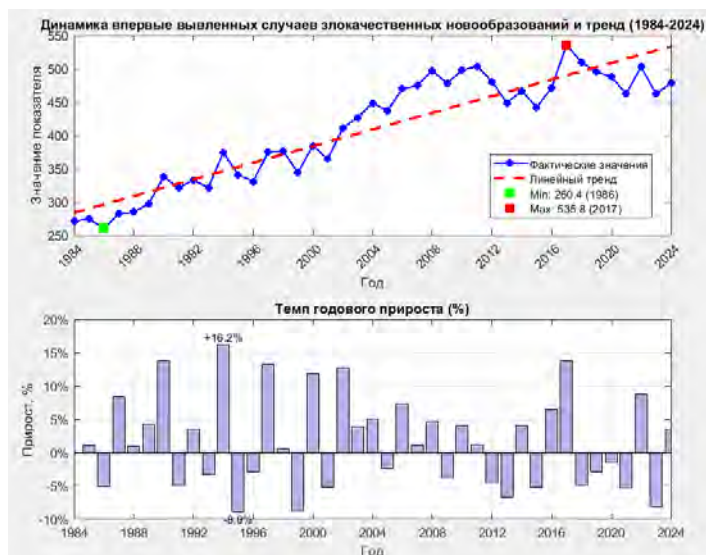


Рис. 1. Динамика онкологической заболеваемости населения г. Таганрога Ростовской области в 1984–2024 гг.

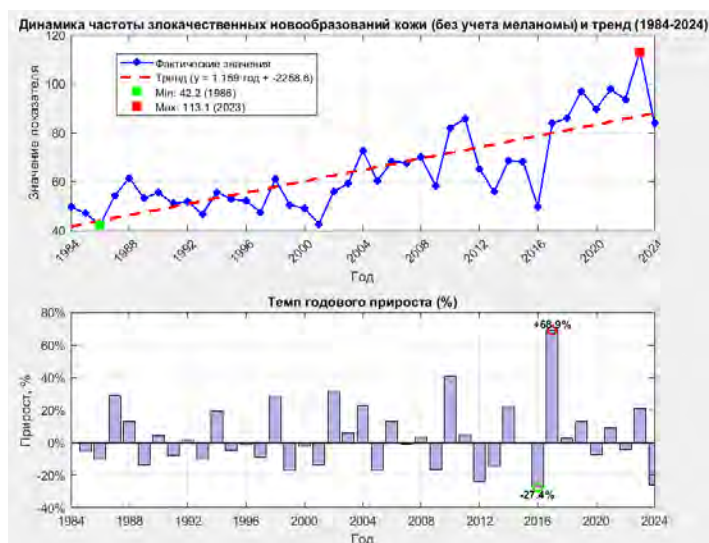


Рис. 2. Динамика частоты ЗН кожи (без учета меланомы), зарегистрированной среди населения города Таганрога Ростовской области в 1984–2024 гг.

В результате нейросетевого моделирования были получены в соответствии с количеством исследуемых временных рядов 9 нейронных сетей (табл. 1), апробация которых выполнена на обучающих выборках с продолжительностью 39 лет (1984–2022 гг.). Результатом служили прогнозы показателей частоты ЗН на 2023 и 2024 гг. с последующим сопоставлением их с фактическими значениями. На заключительном этапе проводилась сравнительная оценка точности прогнозов с применением метрики WAPE (Weighted Absolute Percentage Error), которая взвешивает ошибки пропорционально фактическим значениям (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Параметры реализованных нейросетевых моделей типа LSTM

Параметры модели	Динамические ряды частоты ЗН, зарегистрированных среди жителей г. Таганрога Ростовской области за 39-летний период 1984–2022 гг.								
	Впервые выявленные злокачественные новообразования	Желудок	Ободочная кишка	Прямая кишка, ректосигмоидное соединение и анус	Трахея, бронхи и легкое	Кожа (без учета меланомы)	Молочная железа	Предстательная железа	Щитовидная железа
Размерность входного окна	4	3	4	4	5	3	4	4	5
Количество LSTM слоев	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Количество LSTM блоков (нейронов)	17	12	22	15	24	10	18	21	25
Процесс обучения:	Количество эпох: 500 Алгоритм оптимизации: Adam Функция потерь: MSE (среднеквадратичная ошибка) Ранняя остановка при ухудшении валидации >10 эпох Регуляризация: L2-регуляризация ($\lambda = 0,001$)								

Таблица 2

Оценка точности прогнозов частоты злокачественных новообразований
по данным за 1984–2022 гг.

Прогноз на основе искусственных нейронных сетей по данным за 1984–2022 гг. (39 лет)	Год	Впервые выявленные злокачественные новообразования	Желудок	Ободочная кишка	Прямая кишка, ректосигмоидное соединение и анус	Трахея, бронхи и легкое	Кожа (без учета меланомы)	Молочная железа	Предстательная железа	Щитовидная железа
	2023	460,37	15,62	31,09	26,11	40,02	96,04	50,13	36,21	10,03
	2024	477,50	17,83	37,96	29,89	37,11	84,00	64,51	39,38	11,67
Фактические значения	2023	461,97	15,98	32,38	25,82	39,35	113,13	48,78	36,07	9,83
	2024	478,21	18,18	38,02	32,23	36,78	83,90	68,19	47,11	13,23
Абсолютные погрешности прогнозов	2023	1,60	0,37	1,29	0,28	0,67	17,1	1,35	0,14	0,19
	2024	0,71	0,35	0,06	2,35	0,32	0,1	3,69	7,74	1,55
Взвешенная абсолютная процентная ошибка прогнозирования WAPE	2023	2,93 %								
	2024	2,07 %								

Закключение. Результаты исследования свидетельствуют о высокой точности прогнозных значений частоты возникновения ЗН, полученных с применением рекуррентных нейронных сетей типа LSTM. Точность подтверждена как для агрегированных показателей, так и для отдельных локализаций. Величина метрики WAPE служит объективным критерием оценки: расчетные значения WAPE для прогнозов на 2023 г. составили 2,93 %, а на 2024 г. – 2,07 %. В соответствии с общепринятой интерпретацией метрики WAPE, значения ниже 5 % указывают на исключительную точность прогнозов, подтверждая, что нейросетевые подходы, в частности LSTM, способны эффективно улавливать сложные нелинейные закономерности и долгосрочные зависимости во временных рядах, характерных для данных социально-гигиенического и экологического характера.

Таким образом, точность полученных прогнозов позволяет предположить, что нейросетевое моделирование представляет собой актуальное и перспективное направление для развития методологической базы СГМ, обеспечивая основу для научно обоснованного принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Зубарев Н.Ю. Некоторые особенности факторов смертности населения в Российской Федерации // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 4, № 3. – С. 64–70.
2. Важенин А.В., Новикова С.В., Тюков Ю.А. Современные тенденции эпидемиологии злокачественных новообразований основных локализаций в России (обзор публикаций) // Непрерывное медицинское образование и наука. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 30–35.
3. Cancer Statistics / R.L. Siegel, K.D. Miller, H.E. Fuchs, A. Jemal // CA Cancer J Clin. – 2022. – Vol. 72 (1). – P.7–33. DOI: 10.3322/caac.21708
4. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиций сохранения здоровья нации // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – № 2 (251). – С. 4–7.
5. Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 298–301.
6. Информационно-аналитическая поддержка управления риском для здоровья населения на основе реализации концепции развития системы социально-гигиенического мониторинга в Российской Федерации на период до 2030 года / А.Ю. Попова, С.В. Кузьмин, В.Б. Гурвич, Д.Н. Козловских, С.В. Романов, О.В. Диконская, О.Л. Малых, Е.А. Кузьмина, С.В. Ярушин // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2019. – № 9 (318). – С. 4–12. DOI: 10.35627/2219-5238/2019-318-9-4-12
7. Приоритеты научной поддержки деятельности санитарно-эпидемиологической службы в области гигиены: поиск ответов на известные угрозы и новые вызовы / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, С.В. Кузьмин, И.В. Май // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 4–14. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.01
8. Нейросетевое моделирование задачи прогнозирования значений временного ряда / Л.Ю. Емалетдинова, А.Н. Кабирова, Н.Р. Вильданов // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 10. – С. 101–106. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_10_101
9. Абдрасакова А.Б., Сулайманова С.М. Применения рекуррентных нейронных сетей LSTM для прогнозирования временных рядов среднемесячной температуры воздуха // Наука и инновационные технологии. – 2023. – № 4 (29). – С. 5–12. DOI: 10.33942/sit042370
10. Злокачественные новообразования в промышленном городе: эпидемиология, современные тенденции и прогноз / Б.И. Марченко, О.А. Нестерова, К.С. Тарасенко // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2023. – Т. 31, № 12. – С. 17–26. DOI: 10.35627/2219-5238/2023-31-12-17-26
11. Sepp H., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. – 1997. – № 8 (9). – P. 1735–1780.
12. Исследование LSTM-нейросетевого подхода при моделировании временных рядов / Г.Г. Рапаков, В.А. Горбунов, С.В. Дианов, Л.В. Елизарова // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2023. – № 3 (114). – С. 47–54. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-4

Качество атмосферного воздуха и риск здоровью населения крупных промышленных городов Волгоградской области

Н.В. Аброськина, О.В. Зубарева, Д.К. Князев

Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Волгоградской области, г. Волгоград, Россия

В статье представлено исследование неканцерогенного риска здоровью населения от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе крупных промышленных городов Волгоградской области (на примере г. Волгограда и г. Волжского). Представлен перечень ведущих стационарных источников загрязнения атмосферного воздуха, динамика и структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Проведён количественный расчёт неканцерогенных рисков здоровью населения от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе. По результатам расчётов определены приоритетные органы и системы организма человека, в наибольшей степени подверженные риску поражения. Представлены ключевые предложения по минимизации риска здоровью населения от выявленных приоритетных загрязнителей атмосферы г. Волгограда и г. Волжского.

Ключевые слова: социально-гигиенический мониторинг, риск здоровью населения, чистый воздух, загрязнение атмосферы городов, ущерб здоровью.

Одним из ведущих факторов антропогенного воздействия на здоровье населения является аэрогенный. По данным Всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха является одной из самых серьезных экологических угроз для здоровья человека. За счет мер по снижению уровня загрязнения воздуха страны можно уменьшить бремя таких болезней, как инсульт, сердечно-сосудистые заболевания, рак легких и хронические или острые респираторные заболевания, включая астму [1]. Ежегодно около $6,5 \div 7,0$ млн людей умирает преждевременно от причин, вызванных загрязненным воздухом, из них более полумиллиона – дети до 5 лет. По оценкам ЮНЕП, на здоровье человека этот вид загрязнения влияет больше всего [2].

В системе социально-гигиенического мониторинга оценке качества атмосферного воздуха уделяется самое пристальное внимание как одному из важнейших звеньев в цепи причинно-следственных связей между неблагоприятными факторами среды обитания и состоянием здоровья населения.

Загрязнение атмосферного воздуха является важнейшей проблемой для крупных промышленных городов, в том числе Волгограда и Волжского. В этих городах сосредоточены крупнейшие промышленные предприятия (на их долю приходится наибольшая часть общего валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу региона) [3].

Волгоград – город большой протяженности с высоким уровнем развития промышленности и транспортной сети. Районы Волгограда отличаются уровнем и характером антропогенной нагрузки: на юге города оказывают неблагоприятное влияние выбросы предприятий химии и нефтехимии; на севере – выбросы от метал-

лургических и машиностроительных предприятий, а в центре города главным источником загрязнения является автотранспорт, количество которого возрастает с каждым годом. В г. Волжском источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия химической и обрабатывающей промышленности.

На долю промышленных предприятий, сосредоточенных в самом крупном городе Волгоградской области – Волгограде, приходится более 30 % общего валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу региона.

В последние годы многие крупные промышленные предприятия Волгограда преобразовались, изменили технологию производства, методы очистки выбросов, что привело к изменению объемов и качества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух города.

По данным государственного доклада «О состоянии окружающей среды в Волгоградской области» [4], по сравнению с прошлым годом в 2024 году наблюдается увеличение количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Волгограда на 10,6 % и г. Волжского на 5,7 % (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (1995–2024 гг.): а) г. Волгоград; б) г. Волжский

По данным наблюдений за атмосферным воздухом на стационарных постах ГУ «Волгоградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ЦГМС) и «Комитета природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области» (Облкомприроды) [5], в течение последних лет фиксируются

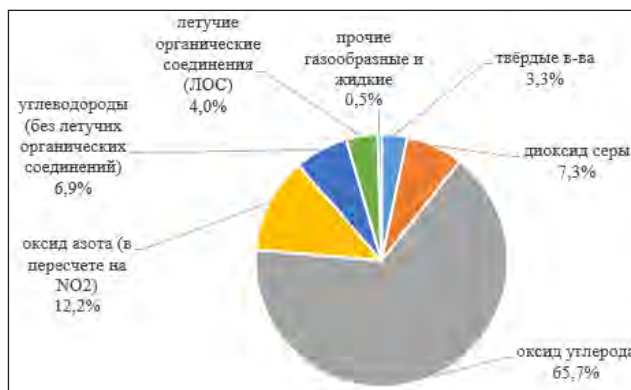
превышения максимально разовых концентраций таких загрязнителей, как диоксид азота – на территории всех районов Волгограда, с тенденцией снижения среднегодовых концентраций и удельного веса проб с превышением гигиенических нормативов. Кроме того, отмечаются превышения предельно-допустимых концентраций следующих загрязнителей: в Центральном районе – формальдегида, оксида углерода, пыли; в Кировском районе – фенола, хлористого водорода; в Красноармейском районе – хлористого водорода, фенола, фторида водорода; в Краснооктябрьском районе – фтористого водорода, формальдегида, оксида углерода. Основными загрязнителями атмосферного воздуха города Волжский являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, сероводород, взвешенные вещества.

Для перечисленных ингредиентов органы дыхания являются основной мишенью негативного воздействия. Их присутствие в атмосферном воздухе способствует снижению иммунитета, оказывает раздражающее действие на органы дыхания и способствует росту заболеваемости населения хроническими бронхитами, фарингитами, бронхиальной астмой, ринитом и повторными ОРВИ.

В структуре выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Волгограда и Волжского преобладают газообразные и жидкие вещества (95,0 и 96,7 % соответственно) (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Структура выбросов загрязняющих веществ в атмосферу крупных промышленных городов в 2024 г.: а) г. Волгоград; б) г. Волжский

рактикуют замеры концентраций химических веществ на соответствующих постах выше указанных учреждений. Соответственно, сделано допущение, что измеренная концентрация химического вещества распространяется на всю популяцию равномерно.

Результаты расчётов показали, что в г. Волгограде отмечается повышенный неканцерогенный риск здоровью населения от действия отдельных веществ: в Красноармейском районе – от водорода хлористого ($HQ = 2,00$); Кировском районе – от водорода хлористого ($HQ = 2,50$); в Центральном районе – от формальдегида ($HQ = 1,33$); в Краснооктябрьском районе – от взвешенных веществ ($HQ = 3,23$) и формальдегида ($HQ = 1,67$).

В результате расчета индекса опасности (НИ), характеризующего риск здоровью населения от действия группы веществ одностороннего действия, приоритетными поражаемыми органами и системами организма определены (табл. 1):

– органы дыхания (во всех исследованных районах Волгограда, кроме Дзержинского): в Красноармейском ($НИ = 3,72$), в Кировском ($НИ = 4,03$), в Центральном ($НИ = 2,43$), в Тракторозаводском ($НИ = 1,18$), в Краснооктябрьском ($НИ = 5,73$);

– выделены и другие органы и системы организма, подверженные риску воздействия от химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе: система крови, иммунная система, глаза, развитие в диапазоне $НИ=1,12 \dots 1,6$.

Т а б л и ц а 1

Сводная таблица неканцерогенных рисков здоровью населения г. Волгограда

Адрес поста	Ориентировочная численность исследуемой популяции, чел.	Значение риска НИ	Ранг	Приоритетные поражаемые системы организма человека
Красноармейский Пост № 36 – ЦГМС, пр-т Канатчиков, 20	140 000	3,72	3	1. органы дыхания
Кировский Пост № 5 – ЦГМС, ул. 64-й Армии, 24	75 000	4,03	2	1. органы дыхания
Центральный Пост № 35, ЦГМС, ул. Гагарина, 14	120 000	2,43 1,33 1,33	4 6 6	1. органы дыхания 2. глаза 3. иммун. система
Дзержинский Пост 4Д, Облкомприроды, БСМП 25	140 000	–		–
Краснооктябрьский Пост № 3, ЦГМС, пр-т Ленина, 69	100 000	5,73 1,67 1,67	1 5 5	1. органы дыхания 2. иммун. система 3. глаза
Тракторозаводский Пост 1Т, Облкомприроды, ул. Мясникова, 12	90 000	1,18 1,12	7 8	1. органы дыхания 2. система крови
ИТОГО:	665 000 чел.			

В результате оценки неканцерогенного риска здоровью населения в г. Волжском установлено, что для жителей, проживающих в районе размещения поста № В5 (ЦГМС, ул. Набережная, 13), выявлен неканцерогенный риск как от действия отдельных веществ (коэффициент опасности HQ для взвешенных веществ составил 1,71, от формальдегида – 2,33), так и от группы веществ однонаправленного действия ($HI_{max} = 4,76$ для органов дыхания).

Для жителей г. Волжского, проживающих в районе размещения поста № В3 (Облкомприроды, ул. Свердлова, 26), выявлен неканцерогенный риск как от действия отдельных веществ (коэффициент опасности HQ от сероводорода составил 1,10), так и от группы веществ однонаправленного действия ($HI_{max} = 2,86$ для органов дыхания).

Для жителей г. Волжского, проживающих в районе размещения поста № В6 (Облкомприроды, ул. Мира, 127А), неканцерогенный риск здоровью от действия отдельных веществ не установлен. Однако выявлен риск для условий одновременного поступления веществ однонаправленного действия ($HI_{max} = 1,65$ для органов дыхания).

Для жителей г. Волжского, проживающих в районе размещения поста № В4 (Облкомприроды, пересечение ул. Пушкина и ул. Пионерская), неканцерогенный риск здоровью от действия отдельных веществ не установлен. Однако выявлен риск для условий одновременного поступления веществ однонаправленного действия ($HI_{max} = 1,15$ для органов дыхания).

Для исследуемых популяций приоритетными поражаемыми системами организма явились органы дыхания, глаза, иммунная система, система крови. Основной вклад в суммарный неканцерогенный риск здоровью населения (соответственно для постов наблюдения) вносят такие вещества, как формальдегид (49,1 %), диоксид азота (30,4...58,5 %), сероводород (30,4...38,5 %), оксид азота (17,7...21,4 %), взвешенные вещества (14,0...35,9 %), диоксид серы (16,3 %) (табл. 2).

Таблица 2

Сводная таблица неканцерогенных рисков здоровью населения г. Волжского

Ориентировочная численность исследуемой популяции, чел.	Значение риска	Ранг	Приоритетные поражаемые системы организма человека
60 000 жителей, Пост В5, ул. Набережная, 13	4,76	1	Органы дыхания
	2,33	3	Глаза
	2,33	3	Иммунная система
50 000 жителей, Пост В3, ул. Свердлова, 26	2,86	2	Органы дыхания
	1,52	5	Система крови
100 000 жителей, Пост В6, ул. Мира, 127А	1,65	4	Органы дыхания
60 000 жителей, Пост В4 на пересечении ул. Пушкина–ул. Пионерская	1,15	6	Органы дыхания
ИТОГО: 270 тыс. чел.			

Таким образом, в крупных промышленных городах Волгоградской области остаются актуальными вопросы реализации мероприятий по предупреждению загрязнения атмосферного воздуха стационарными и передвижными источниками с целью снижения риска для здоровья местного населения.

В целях уменьшения риска развития неблагоприятных эффектов для здоровья населения необходимо реализовывать научно обоснованные инженерно-технические и градостроительные мероприятия, направленные на уменьшение зоны воздействия вредных факторов и рассредоточение очагов экологического неблагополучия.

Предложениями по улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки в крупных промышленных городах Волгоградской области в сфере охраны атмосферного воздуха являются:

- активизация деятельности по контролю за разработкой и реализацией проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий и переселению из них населения в случаях негативного воздействия производственных факторов;
- снижение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за счет технического перевооружения, реконструкции и модернизации производства;
- строительство объездных дорог для грузового, транзитного автотранспорта;
- озеленение городских территорий;
- дальнейшее развитие электрического транспорта.

Список литературы

1. Загрязнение атмосферного воздуха [Электронный ресурс] // ВОЗ. – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения: 25.07.2025).
2. Towards a Pollution-free Planet. Background report [Электронный ресурс] // UNEP. – URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/21800/UNEA_towardspollution_long%20version_Web.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 28.07.2025).
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Волгоградской области в 2024 году: Государственный доклад / под ред. О.В. Зубаревой [Электронный ресурс]. – URL: <https://34.rosпотреbnadzor.ru/content/282/15432/> (дата обращения: 28.07.2025).
4. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2024 году: доклад / Ред. колл.: Е.П. Православнова [и др.]; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Волгоград: «ТЕМПОРА», 2025. – 300 с.
5. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю за загрязнением атмосферного воздуха [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406?section=text> (дата обращения: 28.07.2025).
6. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304711431> (дата обращения: 28.07.2025).

Полирезистентность к антибиотикам бактерий, выделенных из аэрозолей атмосферного воздуха Новосибирской области

**И.С. Андреева¹, О.Д. Тотменина¹, Е.К. Емельянова^{1,2},
А.С. Сафатов¹**

¹ФБУН «Государственный научный центр вирусологии
и биотехнологии «Вектор»,

р.п. Кольцово, Новосибирская область, Россия

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский
университет»,

г. Новосибирск, Россия

Диско-диффузионным методом исследована чувствительность к антибиотикам 145 бактериальных изолятов, выделенных в летний период 2025 г. из образцов атмосферных аэрозолей Новосибирской области, отобранных с помощью импинджеров. Образцы аэрозолей высевали на питательные среды для выделения чистых культур, их идентификации и исследования на чувствительность к антибиотикам. Аэроизоляты представлены спорообразующими, неспороносными бактериями различной таксономической принадлежности. Среди исследованных бактерий обнаружено 86 изолятов, обладающих устойчивостью к 5–16 антибиотикам из 18 использованных в опыте, что позволяет отнести их к полирезистентным штаммам. Обнаруженные в микробиоме атмосферы бактерии, устойчивых к большому числу антибиотических препаратов, свидетельствует о необходимости постоянного контроля его микробного состава в целях защиты здоровья населения.

Ключевые слова: бактериальные аэроизоляты, резистентность к антибиотикам, Новосибирская область.

Микроорганизмы атмосферы могут иметь большое влияние на здоровье людей и животных, в связи с чем изучение состава и концентрации микробиома биоаэрозолей представляется чрезвычайно важным. Состав биоаэрозолей тесно связан с географическими, климатическими, погодными условиями, с наличием в аэрозоле микрочастиц как природного, так и антропогенного происхождения [1]. В состав аэрозолей могут входить патогенные микроорганизмы, аллергены, токсины, пыльца и частицы растений, способные вызвать заболевания людей, животных [2, 3]. Распространение патогенных микроорганизмов, полирезистентных к антибиотикам, наблюдается не только в условиях больниц и в помещениях со скоплением людей, благодаря движению потоков воздуха возможно их перемещение за пределы помещений, контаминирование патогенами атмосферных аэрозолей.

Целью настоящей работы является выделение и исследование на резистентность к антибиотикам бактерий из состава микробиома атмосферных аэрозолей Новосибирской области в летний период 2025 г.

Материалы и методы. Отбор проб аэрозолей проводили в течение 3 месяцев (май–июль 2025 г.) на территории р.п. Кольцово Новосибирской области на высоте

2 м. Для отбора атмосферных аэрозолей применяли импинджеры МЦ-50, производства ОАО «Опытно-конструкторское бюро тонкого биологического машиностроения», г. Кириши, Россия. В качестве сорбирующей жидкости в импинджерах использовали 50 мл раствора Хэнкса (ICN Biomedicals). Полученные образцы аэрозолей высевали на жидкие и агаризованные питательные среды: бульон Мюллера-Хинтона, крахмало-аммиачную среду, почвенный агар (ФБУН ГНЦ ПМБ, Оболенск, Россия). Емкости с посевами инкубировали при температуре 28–30 °С в течение 3–14 суток для выделения чистых культур, их идентификации и исследования на чувствительность к антибиотикам.

Предварительную таксономическую принадлежность штаммов микроорганизмов определяли по суммарным результатам фенотипического анализа [4, 5]. Диски с антибиотиками применяли производства ООО НИЦФ (Россия) с использованием среды Мюллера-Хинтона согласно [6].

Хранятся исследуемые штаммы при низкотемпературном замораживании в Коллекции бактерий, бактериофагов и грибов ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

Результаты и обсуждение. В теплый период года в образцах атмосферных аэрозолей наблюдается повышенная концентрация (до $8,5 \cdot 10^3$ КОЕ/мл) и большое разнообразие микроорганизмов, включающее кокковые формы, спорообразующие и неспоронозные бактерии, актиномицеты и грибы, среди которых обнаруживаются патогенные микроорганизмы, способные вызвать инфекционные процессы [7].

В образцах аэрозолей преобладали представители родов *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Micrococcus* и грибы-микромикеты, микроорганизмы, устойчивые к неблагоприятной среде обитания в атмосферном воздухе, такой как низкая влажность, перепады температуры, действие ультрафиолета и другие. В июне и июле в образцах аэрозолей преобладающими по численности были грибы, относящихся к родам *Penicillium*, *Aureobasidium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium* и ряду других, достигавшие в отдельных образцах аэрозолей до $7,0 \cdot 10^3$ КОЕ/мл. Среди бактерий преобладали грамположительные кокки *Staphylococcus*, *Micrococcus* и неспоронозные бактерии. Высокая концентрация микроорганизмов в исследуемый период может быть связана с повышенным в летнее время содержанием в атмосферном воздухе взвешенных пылевых частиц различной природы, загрязненных микроорганизмами.

Из числа выделенных 145 бактериальных штаммов тестированы диско-диффузионным методом на чувствительность к антибиотикам: 70 штаммов кокков, 23 спорообразующие бактерии (бациллы) и 52 штамма неспоронозных бактерий. Полученные данные представлены в таблице 1.

Среди кокков наибольшее число резистентных штаммов наблюдали относительно полимиксина, эритромицина и канамицина (табл. 1). Большая часть спорообразующих штаммов бактерий была, как это для них характерно, устойчива к полимиксину, а также к линкозаминам (клиндамицину и линкомицину); 10, 11 и 9 штаммов соответственно проявили устойчивость к оксациллину, тетрациклину и рифампицину.

Неспоронозные изоляты бактерий представлены как грамотрицательными, так и грамположительными штаммами, таксономическая принадлежность которых находится в стадии изучения. Более половины неспоронозных бактерий оказалось

высоко устойчиво к линкозаминам, оксациллину и полимиксину, несколько меньше – к другим бетта-лактамам, аминогликозидам, тетрациклину и рифампицину (табл. 1).

По одному штамму из каждой морфогруппы чувствительно ко всем антибиотикам, два штамма тестированных актиномицетов устойчивы к двум и к пяти антибиотическим препаратам соответственно.

Антибиотики, к которым наблюдается наименьшее число резистентных штаммов, могут рассматриваться как перспективные для подавления активности представителей данной группы микроорганизмов.

Таблица 1

Число бактериальных штаммов аэроизолятов, резистентных к антибиотикам

Морфо- группа бактерий	Общее число штам- мов	Антибиотики, концентрация на диске (в мкг) / число резистентных штаммов из числа исследованных												
		Линкозами- ны		Глико- пепти- ды	Бета-лактамы				Аминогликозиды					
		Клиндамицин, 2	Линкомицин 15	Ванкомицин 30	Оксациллин 10	Карбенициллин 100	Ампициллин 10	Амоксициллин 20	Канамицин 30	Стрептомицин 30	Амикацин 30	Неомицин 30		
Кокки	70	24	25	12	17	18	14	13	34	26	24	16		
Бациллы	23	14	18	4	10	3	4	3	6	5	7	7		
Неспоронос- ные	52	34	39	14	32	17	21	17	16	18	14	18		
Морфо- группа бактерий	Общее число штам- мов	Антибиотики, концентрация на диске (в мкг) / число резистентных штаммов из числа исследованных												
		Тетрациклины		Макроли- ды		Полимик- сины	Фторхинолоны		Рифампи- цины					
		Тетрациклин 10		Азитромицин 15 Эритромицин 15		Полимиксин 300 ЕД	Левифлоксацин 5 Офлоксацин 5		Рифампицин 5					
Кокки	70	29		22		38		52	18		24		8	
Бациллы	23	11		2		3		17	2		8		9	
Неспоронос- ные	52	23		5		17		28	9		11		17	

В таблице 2 показано содержание (%) бактериальных штаммов аэроизолятов, полирезистентных к антибиотикам, от общего числа исследованных. В таблице учте-

ны штаммы, устойчивые к действию от 5 до 16 антибиотических препаратов из 18 применяемых в работе. Более всего полирезистентных штаммов обнаружено среди кокков (38 штаммов) и неспороносных бактерий (36 штаммов), среди бацилл – 12 штаммов.

Наибольшее число из исследованных бактерий устойчиво к полимиксину. Полимиксины воздействуют на цитоплазматическую мембрану бактериальной клетки, взаимодействуя с фосфолипидами. Повреждение структуры мембраны приводит к изменению ее проницаемости как для внутри-, так и для внеклеточных компонентов [8]. Препарат активен в отношении только грамотрицательных бактерий, при этом эффективен против бактерий, не поддающихся действию других антибиотиков, таких как *Pseudomonas aeruginosa*, *Haemophilus influenzae* и др. Полимиксин не действует на исследуемые грамположительные стафилококки, микрококки и грамположительные спорообразующие бактерии, что подтверждает известные литературные сведения.

Т а б л и ц а 2

Содержание бактериальных штаммов аэроизолятов, полирезистентных к антибиотикам (%), от общего числа исследованных

Антибиотики	Морфогруппа бактерий / число исследованных / содержание полирезистентных штаммов (%)		
	Кокки	Бациллы	Неспороносные
	70	23	52
Линкозамины	28,5	52,1	62,5
Гликопептиды	25,7	13,1	33,3
Беталактамы	11,4	21,7	22,9
Аминогликозиды	35,7	17,3	18,7
Тетрациклины	40,0	43,4	45,8
Макролиды	44,2	17,3	18,7
Полимиксины	70,0	73,9	64,5
Фторхинолоны	24,2	4,3	16,6
Рифампицины	11,0	39,1	33,3

Более 40 % штаммов в каждой морфогруппе устойчиво к тетрациклину, антибиотику широкого спектра действия [9]. В основе антибактериального действия тетрациклинов лежит подавление белкового синтеза. Для поддержания устойчивости к тетрациклину культур при пассировании антибиотик необходимо добавлять в среду поддержания. Резистентные формы, как правило, утрачивают устойчивость после ряда пересевов на среды, не содержащие антибиотика.

Линкозамины препятствуют репликации бактерий, действуя по бактериостатическому механизму за счёт нарушения синтеза белков. Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам группы линкозамидов (линкомицину, клиндамицину), выявленная также у большой группы аэроизолятов (табл. 2), формируется в результате модификации мишени действия — 50S-субъединицы бактериальной рибосомы.

Линкозамиды в основном используются против грамположительных бактерий, поскольку они не могут проходить через порыны грамотрицательных бактерий [10].

Гликопептиды (ванкомицин в настоящей работе), несмотря на растущее возникновение устойчивых штаммов, остаются препаратами выбора при инфекциях, вызванных метициллин-резистентными штаммами – *Staphylococcus aureus* MRSA, *Staphylococcus epidermidis* MRSE [11].

Титр в воздушной среде клеток *Staphylococcus aureus* используется как индикатор уровня микробной контаминации образцов аэрозолей [12]. Среди исследуемых резистентных кокковых форм аэроизолятов более половины отнесено к роду *Staphylococcus*.

Заключение. Исследование 145 бактериальных изолятов, выделенных из образцов аэрозолей атмосферного воздуха Новосибирской области, включая представителей рода *Staphylococcus*, показало, что многие из них обладают полирезистентностью к антибиотикам, включая как широко применяемые антибиотики, так и препараты резерва. Полученные данные подтверждают литературные сведения о все большем распространении резистентных штаммов, приводят к необходимости постоянного контроля микробиологического состава аэрозолей воздуха для профилактики инфекционных заболеваний, а также – к необходимости поиска альтернативных путей лечения и профилактики заболеваний, вызванных микроорганизмами, резистентными к лекарственным средствам.

Работа выполнена в рамках государственного задания Роспотребнадзора ГЗ 11/21 «Исследование микробного разнообразия в атмосферных аэрозолях».

Список литературы

1. Unravelling the bacterial diversity in the atmosphere / I. Gandolfi [et al.] // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2013. – Vol. 97. – P. 4727–4736. DOI: 10.1007/s00253-013-4901-2
2. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects / J. Douwes [et al.] // Ann. Occup. Hyg. – 2003. – Vol. 47. – P. 187–200. DOI: 10.1093/annhyg/meg032
3. Больничная пыль как потенциальный резервуар госпитальных штаммов / Е.А. Чезганова [и др.] // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 82–92. DOI: 10.31631/2073-3046-2019-18-4-82-92
4. Руководство по медицинской микробиологии. Общая и санитарная микробиология. Книга I / Под ред. А.С. Лабинской, Е.Г. Волиной. – М.: Издательство БИНОМ, 2008. – 1080 с.
5. Methods of General Bacteriology, 2nd / ed. F. Gerhardt, R.G.E. Murray, W.A. Wood, N.R. Krieg. – Washington: Publisher American Society for Microbiology, 1994. – 79 p.
6. МУК 4.2.1890-04. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038583?section=text> (дата обращения: 18.03.2025).

7. Концентрация и состав культивируемых микроорганизмов в аэрозолях атмосферного воздуха г. Новосибирска в зависимости от сезона года / И.С. Андреева [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2022. – Т. 35, № 6. – С. 465–470. DOI: 10.15372/AOO20220605
8. Clinical and molecular epidemiology of *Acinetobacter* infections sensitive only to polymyxin B and sulbactam / E.S. Go [et al.] // *Lancet*. – 1994. – Vol. 12, 344. – P. 1329–1332. DOI: 10.1016/s0140-6736(94)90694-7
9. Ramachandran R., Schaefer B. Tetracycline antibiotics // *ChemTexts*. – 2021. – Vol. 7, № 3. – P. 18. DOI: 10.1007/s40828-021-00138-x
10. Rezanka T., Spizek J., Sigler K. Medicinal Use of Lincosamides and Microbial Resistance to Them // *Anti-Infective Agents in Medicinal Chemistry*. – 2007. – Vol. 6, № 2. – P. 133–144. DOI: 10.2174/187152107780361670
11. Global prevalence and distribution of vancomycin resistant, vancomycin intermediate and heterogeneously vancomycin intermediate *Staphylococcus aureus* clinical isolates: a systematic review and meta-analysis / A. Shariati [et al.] // *Sci Rep*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 12689. DOI: 10.1038/s41598-020-69058-z
12. Concentration of airborne *Staphylococcus aureus* (MRSA and MSSA), total bacteria, and endotoxins in pig farms / F.G. Masclaux [et al.] // *Ann Occup Hyg*. – 2013. – Vol. 57, № 5. – P. 550–557. DOI: 10.1093/annhyg/mes098

О результатах мониторинга вендинговой торговли продовольственными товарами в городе Белгороде

Ю.А. Галкин

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»,
г. Белгород, Россия

Данное исследование посвящено анализу соответствия вендинговых автоматов в г. Белгороде правовым требованиям по предоставлению информации потребителям. Путем проведения натурных обследований и анализа нормативных документов было установлено, что значительная часть автоматов не содержит данных о юридическом лице, составе продуктов и аллергенах, что создает риски для потребителей. Предложены рекомендации по улучшению нормативного регулирования и усилению надзора.

Ключевые слова: вендинговые автоматы, пищевые продукты, безопасность пищевых продуктов, правовое соответствие, защита прав потребителей.

Рынок вендинговых автоматов в России демонстрирует устойчивый рост. По данным 2023 г., объем рынка достиг 60–80 миллиардов рублей, что в пять раз больше по сравнению с предыдущими пятью годами [1]. Однако по сравнению с такими

странами, как Япония, где на каждые 23–30 человек приходится один автомат [2], в России плотность автоматов значительно ниже. В 2018 г. на 217 000 автоматов приходилось около 144 миллионов человек, что составляет примерно один автомат на 663 человека [3]. Несмотря на рост, отрасль сталкивается с проблемами, включая изменения в законодательстве, такие как увеличение налогов, что привело к закрытию более тысячи автоматов в г. Москве в апреле 2025 г. [4].

Наряду с экономическими аспектами, существуют значительные риски для здоровья, связанные с вендинговыми автоматами. В 2019 г. в г. Москве произошло массовое отравление: 65 человек пострадали от употребления пищи из автоматов Healthy Food, у многих был диагностирован сальмонеллез [5]. Международные исследования также показывают, что при ненадлежащем обслуживании и гигиене автоматы могут быть источником загрязнения. В итальянском исследовании на внешних и внутренних поверхностях кофейных автоматов и непосредственно в образцах кофе были обнаружены *Stenotrophomonas maltophilia*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus* spp. и др., чье присутствие снаружи было связано с контактом с руками потребителей, а внутри – с недостаточной очисткой оборудования и качеством сырья. Грибковое загрязнение внутри устройств представлено дрожжами *Candida parapsilosis*, *Torulaspora globosa*, *Clavispora lusitaniae* и плесневыми грибами *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., *Neurospora crassa*. При этом некоторые из перечисленных видов способны продуцировать микотоксины даже при отсутствии видимого плесневого роста, что повышает риски для потребителей [6]. Потенциальная опасность исходит также от используемой тары: в картонных стаканчиках для кофейных автоматов обнаружены неразрешенные и неучтенные соединения, мигрирующие в напитки, несмотря на соблюдение норм по основным показателям [7].

Учитывая эти риски, крайне важно проводить регулярный мониторинг и осуществлять контроль соответствия вендинговых автоматов санитарным и правовым стандартам.

Целью данного исследования является оценка соответствия вендинговых автоматов в г. Белгороде требованиям, установленным в нормативно-правовых актах (НПА), и выявление областей для улучшения.

Материалы и методы. Поиск актуальных версий нормативно-правовых актов осуществлялся в электронных системах КонсультантПлюс, Гарант, электронном фонде нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс».

Для проведения исследования были использованы следующие нормативно-правовые акты:

1. Федеральный закон от 7 февраля 1992 года № 2300-1 «О защите прав потребителей» (Федеральный Закон № 2300-1 «О защите прав потребителей») – устанавливает общие требования к защите прав потребителей, включая предоставление информации о товарах и услугах.

2. Статья 498 Гражданского кодекса Российской Федерации «Продажа товаров с использованием автоматов» (Статья 498 ГК РФ) – регулирует продажу товаров через вендинговые автоматы, включая обязанность владельца автомата предоставлять информацию о продавце, товаре и порядке продажи.

3. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» (ТР ТС 005/2011) – устанавливает требования к безопасности упаковки.

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2020 года № 1515 «Об утверждении Правил оказания услуг общественного питания» (Постановление Правительства Российской Федерации № 1515) – регулирует оказание услуг общественного питания, включая требования к информации о продуктах и условиях их продажи.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года № 2463 «Об утверждении Правил продажи товаров по договору розничной купли-продажи, перечня товаров длительного пользования, на которые не распространяется требование потребителя о безвозмездном предоставлении ему товара, обладающего этими же основными потребительскими свойствами, на период ремонта или замены такого товара, и перечня непродовольственных товаров надлежащего качества, не подлежащих обмену, а также о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (Постановление Правительства Российской Федерации № 2463) – устанавливает правила продажи товаров, включая требования к информации для потребителей.

В ходе мониторинга было обследовано 70 вендинговых автоматов в различных локациях г. Белгорода, включая торговые центры, образовательные учреждения, медицинские организации и общественные места.

Методология исследования включала посещение мест установки вендинговых автоматов в г. Белгороде, фотографирование автоматов и изучение информации о них на соответствие требованиям вышеуказанных нормативно-правовых актов, а также визуальную оценку внешнего состояния аппаратов. Доступ к аппаратам был везде свободный, обследование проводилось методом наблюдения без взаимодействия с аппаратами.

Для каждого автомата оценивались следующие параметры:

1. Внешнее состояние.
2. Место установки и вид автомата (описательный параметр, не связанный напрямую с НПА).

3. Маркировка тары (с открытым доступом до стаканчиков) – оценка соответствия требованиям ТР ТС 005/2011.

4. Наличие на автомате: 1) наименования (фирменное наименование) продавца, его основного государственного регистрационного номера, места нахождения и адреса, режима работы, номера телефона и адреса электронной почты; 2) правил пользования автоматом для заключения договора розничной купли-продажи; 3) порядка возврата суммы, уплаченной за товар, если товар не предоставлен потребителю (оценка соответствия статье 498 ГК РФ, Федеральному Закону № 2300-1 «О защите прав потребителей» и Постановлению Правительства Российской Федерации № 2463).

5. Для автоматов, реализующих напитки, приготовляемые в автомате, – наличие информации об основных ингредиентах, пищевой ценности (БЖУ), калорийности, условиях оказания услуг (оценка соответствия Постановлению Правительства Российской Федерации № 1515).

Результаты. Результаты оценки соответствия требованиям нормативно-правовых актов показали значительные нарушения в предоставлении информации потребителям (рис. 1).

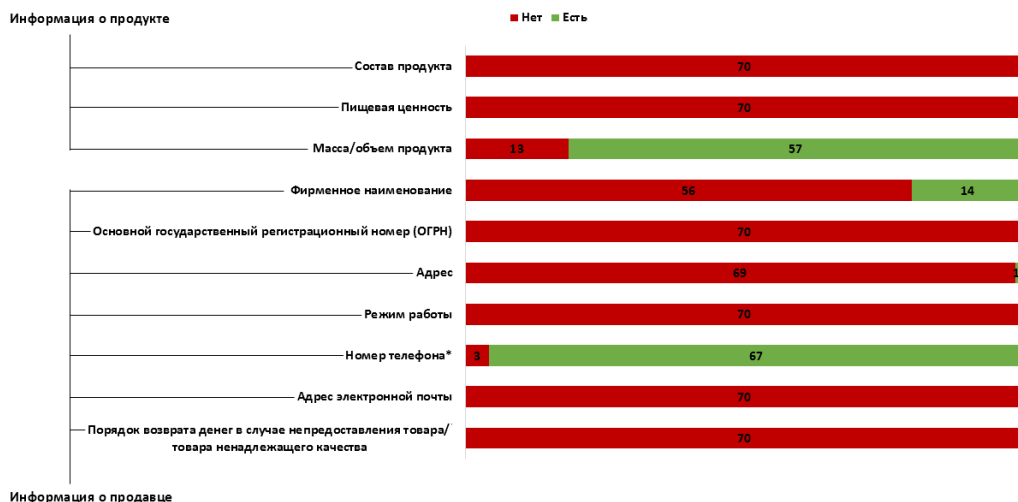


Рис. 1. Наличие и отсутствие информации на вендинговом автомате

Информация о продукте.

1. *Состав продукта.* Все обследованные автоматы (70 из 70) не содержали информации о составе продуктов, включая данные о потенциальных аллергенах, что нарушает требования Постановления № 1515.

2. *Пищевая ценность (КБЖУ).* Ни один из автоматов (70 из 70) не предоставлял информацию о калорийности, содержании белков, жиров и углеводов, что также противоречит Постановлению № 1515.

3. *Объем продукта.* 13 автоматов из 70 не указывали объем предлагаемых продуктов. Следует отметить, что два из этих автоматов (минимаркет и снековый аппарат) были исключены из анализа объема, так как их ассортимент предполагает иные требования к маркировке, оговоренные в ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 022/2011, что снижает общее число нарушений до 13. Однако, так как продукты не находятся в прямом доступе, то потребитель не имеет возможности до покупки ознакомиться с составом и пищевой ценностью.

Информация о продавце. Детальный анализ показал, что информация о юридическом лице предоставляется частично или, чаще всего, отсутствует полностью:

1. *Фирменное наименование.* 56 автоматов из 70 не указывали наименование продавца.

2. *Основной государственный регистрационный номер (ОГРН).* Все автоматы (70 из 70) не содержали данных об ОГРН.

3. *Адрес юридического лица.* 69 автоматов из 70 не указывали адрес продавца.

4. *Режим работы.* Все автоматы (70 из 70) не предоставляли информации о режиме работы.

5. *Номер телефона**. На 3 автоматах из 70 не указан ни один телефон. *В 67 случаях указан номер поддержки, но не юридического лица.

6. *Порядок возврата денег за непредоставленный товар*. На всех (70) автоматах отсутствовала данная информация.

7. *Адрес электронной почты*. Ни на одном из автоматов не был указан адрес электронной почты.

Дополнительные наблюдения. Наружное состояние автоматов в большинстве случаев было удовлетворительным, однако можно выделить, что автоматы на улице, по сравнению с автоматами внутри зданий, подвергаются неблагоприятным метеорологическим факторам и вандализму, вследствие чего на их корпусе могут быть посторонние надписи, разбитые элементы декора аппарата и пылевые загрязнения. Также особого внимания заслуживают кофейни самообслуживания, где при добавлении дополнительных ингредиентов в кофе и перемешивании загрязняется зона самообслуживания, что требует более частой уборки этой категории автоматов. Маркировка тары (в автоматах, где есть открытый доступ к стаканчикам) в основном соответствовала требованиям ТР ТС 005/2011, за исключением одного случая.

Обсуждение. Мониторинг вендинговых автоматов в г. Белгороде выявил значительные недостатки в предоставлении информации потребителям в отношении данных о юридическом лице, составе продуктов и потенциальных аллергенах. Значительная часть автоматов содержит лишь номер технической поддержки и инструкции по покупке, но не предоставляет сведений о юридическом лице, таких как фирменное наименование, адрес или регистрационные данные. Это ограничивает возможности потребителей обращаться за защитой своих прав в случае проблем с товаром или услугой. Памятка для потребителей про вендинговые автоматы, опубликованная Центром гигиены и эпидемиологии Оренбургской области, подчёркивает важность наличия такой информации и рекомендует воздерживаться от покупок в автоматах, где она отсутствует [8]. Отсутствие информации о составе продуктов, включая потенциальные аллергены, создает риски для здоровья, особенно для людей с пищевыми аллергиями, число которых оценивается в 5 % взрослых и 8 % детей во всем мире [9].

Отсутствие данных о юридическом лице на вендинговых автоматах — это не только локальная проблема г. Белгорода, но и более широкая тенденция, связанная с недостаточным регулированием отрасли. Аналогичные проблемы также наблюдаются и за рубежом. В 2020 г. исследование Торфенского графства в Великобритании показало, что около 50 % вендинговых автоматов не содержали информации об аллергенах, а данные о продавце либо отсутствовали, либо были неполными [10]. В 2025 г. в США компания Sheehan Brothers Vending отозвала сэндвичи из автоматов в Огайо, Кентукки и Индиане из-за неуказанного аллергена (кунжута), что подчеркивает глобальную проблему недостаточной маркировки [11].

Отсутствие информации о составе продуктов и аллергенах усугубляет проблему. В 2021 г. в Великобритании был зафиксирован смертельный случай анафилактического шока из-за употребления упакованного сэндвича с неуказанным кунжутом в составе, что привело к усилению требований к маркировке в рамках «Natasha's Law» [12]. Необходимо отметить, что такие сэндвичи часто продаются с помощью вендинговых автоматов и в РФ.

Вендинговые автоматы находятся в зоне менее строгого надзора по сравнению с традиционной розничной торговлей по нескольким причинам. Во-первых, их распределённое расположение по различным локациям затрудняет систематический контроль со стороны Роспотребнадзора или других органов. Во-вторых, законодательство, регулирующее вендинговую торговлю, остаётся недостаточно детализированным. Хотя НПА устанавливают требования к предоставлению информации, механизмы обеспечения их соблюдения не прописаны чётко. В-третьих, автоматизированная природа вендинга исключает прямое взаимодействие с продавцом, делая маркировку на автомате единственным источником информации для потребителя. Однако, как показало исследование, эта маркировка часто отсутствует или является неполной.

Для решения этих проблем необходимо внедрение более строгих стандартов. Например, в США Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) требует указания калорийности увеличенными символами на пищевых продуктах, с учетом их возможной продажи в вендинговых автоматах, чтобы информация о калорийности была доступна потребителю через окошко снекового аппарата. Однако к составу, аллергенам и пищевой ценности такие требования не предъявляются [13]. В России можно было бы ввести обязательную оценку соответствия автоматов, учитывающую наличие информации о юридическом лице и составе продуктов. Кроме того, образовательные кампании для владельцев автоматов и усиление роли Роспотребнадзора в контроле могли бы повысить уровень соблюдения законодательства.

Выводы и рекомендации. Несовершенство нормативно-правовой базы и недостаточный надзор создают условия для нарушений в вендинговой торговле. Предлагается:

1. Усовершенствовать положения НПА, позволяющие эффективно проводить оценку соответствия наличия обязательной информации, в том числе в рамках муниципального контроля.
2. Разработать методологию определения категорий риска для различных типов автоматов, уделяя особое внимание тем, что продают пищевые продукты.
3. Проводить регулярные профилактические, контрольно-надзорные мероприятия, включая оценку на наличие и соответствие информации о продавце и аллергенах.
4. Предложить владельцам автоматов предоставлять актуальную информацию о юридическом лице и составе продуктов в доступной форме, например, через QR-коды, ведущие на сайт с подробными данными.
5. Обязать владельцев представлять потребителю на автомате дату последнего обслуживания и периодичность в соответствии с технической документацией и СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения».
6. Перечень НПА, на соответствие которым проводилось обследование, можно предложить в качестве базового при организации и проведении Роспотребнадзором профилактических мероприятий в рамках ФЗ-248 «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации».

Список литературы

1. Российский рынок вендинговых аппаратов в 2023 году [Электронный ресурс] // TAdviser. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Вендинговые_аппараты (дата обращения: 15.07.2025).
2. This Country Has More Vending Machines Than Anywhere Else [Электронный ресурс] // Vending Locator. – URL: <https://www.vendinglocator.com/blog/what-country-has-the-most-vending-machines-per-capita> (дата обращения: 15.07.2025).
3. Рынок вендинга в России. Итоги года [Электронный ресурс] // Vendoved. – URL: <http://www.vendoved.ru/gynok-vendinga-v-rossii-itogi-goda/> (дата обращения: 15.07.2025).
4. В Москве начинают закрываться вендинговые автоматы из-за роста торгового налога [Электронный ресурс] // Forbes. – URL: <https://www.forbes.ru/franchises/534545-v-moskve-nacinaut-zakryvat-sa-vendingovye-avtomaty-iz-za-rosta-torgovogo-naloga> (дата обращения: 15.07.2025).
5. Чеповская А. Скоропортящийся бизнес: 65 человек отравились сэндвичами из автоматов [Электронный ресурс] // Известия. – URL: <https://iz.ru/900384/anastasiia-chepovskaia/skoroportyashchiis-biznes-65-chelovek-otravilis-sendvichami-iz-avtomatov> (дата обращения: 15.07.2025).
6. Preliminary Investigation on Hygienic-Sanitary Quality of Food Vending Machines / G. Caggiano, V. Marcotrigiano, M. D'Ambrosio, P. Marzocca [et al]. // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20, № 8. – P. 5557. DOI: 10.3390/ijerph20085557.
7. Montañés L., Nerin C., Asensio E. Determination the set-off migration of ink in cardboard-cups used in coffee vending machines // Food and Chemical Toxicology. – 2019. – Vol. 129. – P. 170–179. DOI: 10.1016/j.fct.2019.05.022
8. Вендинговые аппараты [Электронный ресурс] // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области». – URL: <https://orenfbuz.ru/news/vendingovye-apparaty> (дата обращения: 15.07.2025).
9. Sicherer S.H., Sampson H.A. Food Allergy: a review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management // Journal of Allergy and Clinical Immunology. – 2018. – Vol. 141. – P. 41–58. DOI: 10.1016/j.jaci.2017.11.003
10. Investigation into allergen risks from vending machines [Электронный ресурс] // Food Manufacture. – URL: <https://www.foodmanufacture.co.uk/Article/2020/10/02/Vending-machine-allergen-risk-highlighted-by-trading-standards/> (дата обращения: 15.07.2025).
11. Sheehan Brothers Vending Recalls Sandwich Products Due to Undeclared Sesame Allergen [Электронный ресурс] // U.S. Food and Drug Administration. – URL: <https://www.fda.gov/safety/recalls-market-withdrawals-safety-alerts/sheehan-brothers-vending-issues-voluntary-recall-due-undeclared-sesame-allergen#recall-announcement> (дата обращения: 15.07.2025).
12. Food allergen labelling changes become law [Электронный ресурс] // Food Standards Agency. – URL: <https://www.food.gov.uk/news-alerts/news/food-allergen-labelling-changes-become-law> (дата обращения: 15.07.2025).
13. Vending Machine Labeling Requirements [Электронный ресурс] // U.S. Food and Drug Administration. – URL: <https://www.fda.gov/food/food-labeling-nutrition/vending-machine-labeling-requirements> (дата обращения: 15.07.2025).

Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения Кемеровской области – Кузбасса

Л.А. Глебова, А.В. Бачина, А.Н. Лукьянова

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии
в Кемеровской области – Кузбассе»,
г. Кемерово, Россия

В данной работе проведена оценка риска ольфакторно-рефлекторных эффектов при пероральном поступлении с питьевой водой химических веществ, влияющих на органолептические свойства. Результаты оценки свидетельствуют о неприемлемом риске, связанном с повышенными концентрациями железа, марганца и мутности.

Проведена оценка неканцерогенного и канцерогенного риска для здоровья населения по административным территориям Кузбасса. Установлен «высокий» неканцерогенный риск по содержанию мышьяка и нитратов на двух территориях. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ соответствует минимальному и допустимому уровню риска. Основной вклад в канцерогенный риск – более 90 % – вносят тригалогенметаны. На двух административных территориях установлен настораживающий уровень риска, основной вклад вносит мышьяк.

Ключевые слова: питьевая вода, риск ольфакторно-рефлекторных эффектов, неканцерогенный и канцерогенный риск, здоровье населения.

Обеспечение населения качественной питьевой водой – одна из приоритетных проблем государственной политики, направленной на сохранение здоровья и улучшение условий проживания жителей Российской Федерации [1]. В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства. Мониторинг качества и безопасности является одним из ключевых элементов системы безопасности питьевой воды, обеспечивающий превентивный подход к управлению ее качеством [2]. В целях реализации федерального проекта «Чистая вода» разработана модель оценки качества питьевой воды, определены методические подходы к организации программ мониторинга [2], в том числе использованию результатов производственного контроля ресурсоснабжающих организаций [3, 4].

При гигиенической оценке качества питьевой воды и оценке эффективности мероприятий часто применяется методология оценки риска для здоровья населения. Анализ вероятности появления неблагоприятных эффектов, связанных с воздействием на человека содержащихся в питьевой воде химических веществ, рекомендуется проводить, в который включается расчет показателей риска с использованием интегральной оценки ольфакторно-рефлекторных эффектов [5].

Проблема качества питьевой воды централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения остается актуальной в связи с постоянной регистрацией проб, не соответствующих требованиям гигиенических нормативов по сани-

тарно-химическим и микробиологическим показателям. Наиболее эффективным методом по оценки влияния качества питьевой воды на здоровье населения является оценка и управление рисками при пероральном воздействии.

Цель исследования – проведение оценки канцерогенного, неканцерогенного риска и органолептического риска здоровью населения Кемеровской области – Кузбасса при пероральном поступлении химических веществ с питьевой водой.

Материалы и методы. Содержание химических соединений в питьевой централизованной воде оценивали по данным лабораторных испытаний, выполненных в рамках социально-гигиенического мониторинга на базе аккредитованных испытательных лабораторных центров ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области – Кузбассе» и его филиалов в 2024 году. По данным регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга, в питьевой централизованной воде на административных территориях Кемеровской области – Кузбасса в 2024 г. проведены лабораторные исследования для определения содержания более 20 химических веществ (мутность, аммиак, железо, алюминий, магний, фториды, нитраты, нитриты, мышьяк, бор, барий, кадмий, марганец, медь, никель, свинец, бромдихлорметан, тетрахлорметан, фенол, хлороформ, дибромхлорметан и др.), из них 8 веществ, обладающие канцерогенными свойствами.

Оценка риска канцерогенного и неканцерогенного риска проводилась по средней концентрации в соответствии с «Руководством по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (Р 2.1.10.3968-23).

При оценке неканцерогенного риска для здоровья населения коэффициент опасности не должен превышать 1,0. При оценке суммарного влияния веществ с односторонним действием (т.е. влияющих на одни те же органы и (или) системы организма) применяется в качестве допустимого (приемлемого) уровня $HQ = 3,0$ при условии, если ни у одного из компонентов загрязнения коэффициент опасности (HQ) не превышает 1,0. При несоблюдении данного условия оценка проводится по веществу с максимальным значением HQ.

При оценке канцерогенного риска для здоровья населения для воды водных объектов, в том числе питьевой, предельно допустимый риск устанавливается на уровне $1,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-6}$. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения. Данные уровни подлежат постоянному контролю. В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Для оценки вероятности возникновения ольфакторно-рефлекторных эффектов питьевой воды взяты максимальные показатели 98%-й вероятностной обеспеченности, согласно методическим рекомендациям 2.1.4.0032-11 «Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности». Уровень риска ольфакторно-рефлекторных эффектов в питьевой централизованной воде не должен превышать приемлемое значение – 0,1.

Результаты. В Кемеровской области – Кузбассе для обеспечения населения питьевой водой в 2024 г. эксплуатировалось 810 водопроводов и 77 нецентрализованных источников питьевого водоснабжения общего пользования. Из общего числа

водопроводов 21 использует воду поверхностных водоемов, 789 – подземные воды. Централизованным водоснабжением обеспечивается 98,8 % населения Кемеровской области – Кузбасса, в том числе в городских поселениях – 98,7 %, в сельских поселениях – 94,2 %. Нецентрализованным водоснабжением обеспечивается 1,2 % населения.

В качестве источников централизованного водоснабжения населения Кемеровской области – Кузбасса в 2024 г. использовались поверхностные, подземные и подрусловые воды.

Доля водопроводов, не соответствующих гигиеническим нормативам из-за отсутствия сооружений очистки водопроводной воды, составляет 11,3 %.

В 2024 г. доля проб воды источников централизованного водоснабжения населения области, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, составила 28,5 %, в том числе из поверхностных водоемов – 29,5 %, подземных вод – 27,9 %.

Доля проб воды источников централизованного водоснабжения населения, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, в 2024 г. составила 25,1 %, в том числе из поверхностных водоемов – 40,5 %, подземных вод – 7,6 %.

Природное состояние подземных вод Кемеровской области – Кузбасса характеризуется повышенным содержанием железа, марганца, общей жесткости, характерным для всей Западной Сибири.

В целях обеспечения населения качественной питьевой водой на водопроводных сооружениях применяются соответствующие технологии по очистке и обеззараживанию воды источников централизованного водоснабжения населения. В Кемеровской области – Кузбассе в технологии очистки воды на водопроводных сооружениях из открытых водоемов в г. Новокузнецке, г. Междуреченске, г. Осинники, г. Прокопьевске, г. Киселевске, г. Кемерово, г. Юрге, г. Анжеро-Судженске, г. Таштаголе, г. Березовском используются классические схемы очистки и обеззараживания водопроводной воды (осветление воды с использованием отстойников и скорых фильтров, применение коагулянтов и флокулянтов, обеззараживание воды гипохлоритом натрия).

Подземные воды перед подачей в распределительную сеть поселений подвергаются соответствующей очистке (обезжелезивание, демангация, умягчение, аэрация, осветление) и обеззараживанию.

В 2024 г. доля проб воды из распределительной сети централизованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, составила 5,5 %. По микробиологическим показателям доля проб воды из распределительной сети централизованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам, составляет 2,3 %.

Основными причинами неудовлетворительного качества питьевой воды продолжают оставаться факторы природного характера, использование устаревших технологических решений водоподготовки, низкое санитарно-техническое состояние существующих водопроводных сетей и сооружений.

Наличие в воде постороннего запаха, вкуса, привкуса, неестественный цвет воды, повышенная мутность и обильный осадок влияют на органолептические свойства воды, могут указывать на загрязнение воды посторонними веществами и неэффективную водоподготовку.

Для оценки риска ольфакторно-рефлекторных эффектов (органолептического риска) в анализ включены 8 органолептических показателей: мутность, сульфаты, алюминий, аммиак, железо, марганец, нефтепродукты, фенол.

Результаты оценки риска при пероральном поступлении с питьевой централизованной водой химических веществ, характеризующихся ольфакторно-рефлекторным эффектом воздействия, свидетельствуют о неприемлемом уровне риска на 11 административных территориях Кемеровской области – Кузбассе. Основная причина неприемлемого ольфакторного риска связана с повышенными концентрациями железа на 7 административных территориях (1,19–9,21 единиц), марганца на 3 административных территориях (1,42–6,96 единиц) и мутности на 1 административной территории (4,98 единиц).

При данном уровне риска ольфакторно-рефлекторных эффектов или эффектов психологического дискомфорта возможны частые случаи жалоб населения на различные неудовлетворительные состояния, связанные с воздействием оцениваемого фактора.

Оценка неканцерогенного риска (коэффициенты и индексы опасности) для здоровья населения городов и районов области проведена по 17 химическим веществам, содержание которых обнаружено в 2024 г. в питьевой централизованной воде.

При ранжировании веществ, загрязняющих питьевую централизованную воду, установлено, что наибольший вклад в суммарный индекс опасности на большинстве административных территорий Кузбасса вносят фториды, хлороформ.

В 2024 г. в соответствии с классификацией уровня риска неканцерогенных эффектов по коэффициентам опасностей для отдельных веществ установлен высокий уровень риска в питьевой централизованной воде на территориях: по мышьяку в Юргинском г.о. (HQ = 31,84), Юргинском м.о. (HQ = 21,4), настораживающий уровень риска по нитратам в Юргинском м.о. (HQ = 1,14). Следует отметить, что концентрация содержания мышьяка на данных территориях в питьевой централизованной воде в течение года не превышала ПДК, по нитратам в Юргинском м.о. средняя концентрация в 2024 году (66,64 мг/л) превышала ПДК в 1,5 раза.

При комбинированном однонаправленном воздействии содержащихся в питьевой воде химических веществ на указанных территориях отмечается «высокий» риск влияния на следующие критические органы и системы: на сердечно-сосудистую систему, кожные покровы, нервную систему, процессы развития, органы дыхания.

На других административных территориях Кемеровской области – Кузбасса коэффициенты опасности (HQ) по каждому веществу и индексы опасности комбинированного однонаправленного воздействия на органы и системы не превышают допустимой величины.

Оценка канцерогенного риска здоровью населения городов и районов области, связанного с употреблением питьевой централизованной воды, проведена от воздействия соединений мышьяка, свинца, бромдихлорметана, хлороформа, дибромхлорметана, тетрахлорметана.

В Кемеровской области – Кузбассе, как и во многих территориях Российской Федерации, для обеспечения населения водой с гарантированными параметрами качества и безопасности применяется хлор или хлорсодержащие реагенты для обеззараживания воды при использовании в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения поверхностных источников [6–8].

Использование метода хлорирования признается потенциальным фактором формирования канцерогенного риска за счет образования сверхнормативных концентраций летучих хлорорганических соединений, в том числе тригалогенметанов (ТГМ), которые проявляют себя как эпигенетические промоторы канцерогенеза при пероральном воздействии [9–12]. Результаты оценки канцерогенного риска здоровью населения по данным динамического наблюдения за содержанием в водопроводной воде ТГМ при учете параметров их многомаршрутной суммарной экспозиции являются высокоинформативным показателем в системе социально-гигиенического мониторинга [13–16].

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ, обладающих канцерогенными свойствами, соответствует минимальному уровню риска на 6 административных территориях Кемеровской области – Кузбасса (CR от $1,7 \cdot 10^{-7}$ до $7,0 \cdot 10^{-7}$), допустимому приемлемому уровню риска – на 18 административных территориях (CR от $1,03 \cdot 10^{-6}$ до $5,0 \cdot 10^{-5}$), настоятельно опасному уровню риска на 2 административных территориях (CR от $1,1 \cdot 10^{-4}$ до $1,9 \cdot 10^{-4}$). Основной вклад в суммарный канцерогенный риск – более 90 % – вносят тригалогенметаны. Среди летучих хлорорганических соединений наибольшую долю вклада в канцерогенный риск определяют хлороформ и бромдихлорметан – от 24,5 % до 71,4 %.

Следует отметить, что только на двух административных территориях, где установлен настоятельно опасный уровень риска, основной вклад в суммарный канцерогенный риск вносит содержание в питьевой централизованной воде мышьяка, при этом концентрация данного вещества не превышает гигиенических нормативов.

Оценка популяционного канцерогенного абсолютного риска показала, что в целом по области существует вероятность возникновения до 1,0 дополнительного случая онкологического заболевания в год, по отношению к фоновому числу случаев злокачественных новообразований, которое может быть связано с загрязнением питьевой воды химическими канцерогенами.

Заключение. Результаты оценки риска ольфакторно-рефлекторных эффектов (органолептического риска) при пероральном поступлении с питьевой водопроводной водой химических веществ, влияющих на органолептические свойства, свидетельствуют о неприемлемом риске в связи с повышенными концентрациями железа, марганца и мутности.

Установлен «высокий» неканцерогенный риск по содержанию мышьяка и нитратов на двух административных территориях Кузбасса.

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск при пероральном поступлении химических веществ, обладающих канцерогенными свойствами, соответствует минимальному и допустимому уровню риска. Основной вклад в суммарный канцерогенный риск – более 90 % – вносят тригалогенметаны.

На двух административных территориях установлен настоятельно опасный уровень риска (CR от $1,1 \cdot 10^{-4}$ до $1,9 \cdot 10^{-4}$), основной вклад в суммарный канцерогенный риск вносит содержание мышьяка в питьевой централизованной воде.

Применение методологии оценки риска здоровью населения от совокупности вредных эффектов, обусловленных содержащимися в питьевой воде химическими

веществами, с дополнительной оценкой риска ольфакторно-рефлекторных эффектов позволяет совершенствовать системы социально-гигиенического мониторинга, разрабатывать комплекс мероприятий по управлению рисками, направленными на улучшение качества питьевой воды.

Изменение органолептических свойств воды может учитываться при решении вопросов регламентации содержания нетоксичных веществ в воде, влияющих только на её органолептические свойства, и необходимости проведения реконструкционных работ системы водоснабжения.

Перспективными мероприятиями по снижению канцерогенного риска от тригалогенметанов, наряду с систематическим мониторингом их содержания, могут стать глубокая очистка исходной воды до хлорирования с целью уменьшения содержания органических соединений – предшественников тригалогенметанов, а также применение постхлорирования в конце технологической схемы водоподготовки с заменой первичного хлорирования на безреагентный метод обеззараживания водопроводной воды.

Список литературы

1. К вопросу оценки качества питьевой воды систем централизованного водоснабжения в современных условиях / Ю.А. Новикова, К.Б. Фридман, В.Н. Федоров [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 6. – С. 563–568. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-6-563-568

2. Методические подходы к организации программ мониторинга качества питьевой воды / Ю.А. Новикова, И.О. Мясников, А.А. Ковшов [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 10 (331). – С. 4–8. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-4-8

3. Производственный контроль как составная часть мониторинга качества питьевой воды / И.О. Мясников, Ю.А. Новикова, О.С. Алентьева [и др.] // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2020. – № 10 (331). – С. 9–14. – DOI: 10.35627/2219-5238/2020-331-10-9-14

4. Об алгоритме сбора результатов производственного контроля качества и безопасности питьевой воды / Н.А. Тихонова, О.И. Копытенкова, Ю.А. Новикова // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2024: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием (Пермь, 14–16 октября 2024 г.) / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2024. – С. 147–151.

5. Интегральная оценка качества питьевой воды Омской области / Ю.А. Новикова, Н.А. Тихонова, И.О. Мясников [и др.] // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 8. – С. 861–865. – DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-861-865. – EDN BSIVKY.

6. Оценка эффективности применения преаммонизации в целях снижения канцерогенного риска от тригалогенметанов в питьевой воде / Л.А. Дерябкина, Б.И. Марченко, Н.К. Плуготаренко, А.И. Юхно // Анализ риска здоровью. – 2020. – № 3. – С. 70–77. DOI: 10.21668/health.risk/2020.3.08

7. Опыт установления и доказывания вреда здоровью населения вследствие потребления питьевой воды, содержащей продукты гиперхлорирования / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Э.В. Седусова // Здоровье населения и среда обитания. – 2015. – № 12 (273). – С. 16–18.

8. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, И.В. Май, П.З. Шур // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 4–20. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.01

9. Качество питьевой воды: факторы риска для здоровья населения и эффективность контрольно-надзорной деятельности Роспотребнадзора / Н.В. Зайцева, А.С. Сбоев, С.В. Клейн, С.А. Вековщина // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 2. – С. 44–57. DOI: 10.21668/health.risk/2019.2.05

10. Луцевич И.Н. Гигиеническая оценка трансформации сложных органических веществ, образующихся в результате обеззараживания питьевой воды хлором // Казанский медицинский журнал. – 2003. – Т. 84, № 2. – С. 142–145.

11. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений в воде систем централизованного водоснабжения / Б.И. Марченко, П.В. Журавлев, Н.К. Плуготаренко, А.И. Юхно // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 2. – С. 99–110. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-99-110

12. Сравнительная оценка канцерогенных рисков здоровью населения при многосредовом воздействии химических веществ / С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин, Л.М. Воробьева, Д.В. Горяев, И.В. Тихонова, С.В. Куркатов // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 88–92.

13. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: Изд-во НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.

14. Гигиеническое обоснование управленческих решений с использованием интегральной оценки питьевой воды по показателям химической безвредности и эпидемиологической безопасности / Ю.А. Рахманин, А.В. Мельцер, А.В. Киселев, Н.В. Ерастова // Гигиена и санитария. – 2017. – Т. 96, № 4. – С. 302–305. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-4-302-305

15. Сбоев А.С., Романенко К.В. Анализ влияния хлорорганических соединений, содержащихся в воде сети хозяйственно-питьевого водоснабжения, на здоровье населения в городах Пермского края // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 1. – С. 14–17. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-14-17

16. Оценка канцерогенного риска от воздействия хлорорганических соединений в воде систем централизованного водоснабжения / Б.И. Марченко, П.В. Журавлев, Н.К. Плуготаренко, А.И. Юхно // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 2. – С. 99–110. – DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-99-110

Анализ последствий влияния эпидемического процесса COVID-19 на медико-демографическую ситуацию

М.В. Глухих

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Настоящее исследование посвящено комплексному анализу последствий пандемии COVID-19 для оценки медико-демографической ситуации в мире и в России. Пандемия COVID-19 может быть охарактеризована как «чёрный лебедь» – маловероятное, но масштабное событие, которое обнажило уязвимости глобальных систем здравоохранения, несмотря на имевшиеся прогнозы. Цель работы – оценить масштабы прямого и косвенного влияния эпидемического процесса через призму избыточной смертности, снижения ожидаемой продолжительности жизни, долгосрочных последствий для здоровья (постковидный синдром) и социальных детерминант здоровья. Методология основана на контент-анализе научной литературы из международных баз данных и авторитетных медицинских журналов. В результате выявлены ключевые негативные эффекты: рефакторизация причин смертности, «эффект жатвы» (ускоренная смертность среди уязвимых групп), усиление антивакцинаторских настроений на фоне инфодемии и синдемии (взаимное отягощение COVID-19 и хронических заболеваний). Исследование подчёркивает необходимость укрепления эпидемиологического надзора, разработки научно обоснованных программ медико-демографического развития и учета системного, многомерного характера угроз для общественного здоровья в будущем.

Ключевые слова: COVID-19, медико-демографическая ситуация, избыточная смертность, ожидаемая продолжительность жизни, поствирусный синдром, эпидемиологический надзор, система здравоохранения.

Ретроспективно (фактологически) можно считать, что пандемия COVID-19, помимо прямого влияния на здоровье населения, являлась глобальным модификатором, повлиявшим на медико-демографическую ситуацию в мире и в России в частности. В соответствии с размышлениями философов современности [1] пандемию по всем критериям можно отнести к так называемым «чёрным лебедям», т. е. маловероятным (труднопредсказуемым) событиям, имеющим значительные последствия. Автор привержен точки зрения о множественных связях, происходящих в мире: «Интернет и глобализация превратили мир в сложную систему, состоящую из запутанной паутины взаимоотношений и других, тесно связанных между собой, факторов. Эта сложность не только увеличивает вероятность появления «чёрных лебедей» – она затрудняет прогнозирование даже рядовых событий» [1]. Как таковая пандемия COVID-19 не являлась непредсказуемым событием. Прогнозы относительно появления эпидемических процессов подобного масштаба обсуждались специалистами в области эпидемиологии общественного здравоохранения и ранее на основе наблю-

дения за глобальными процессами, обусловленными техническим прогрессом [2]. Вместе с тем она стала полной неожиданностью для мировой системы здравоохранения, несмотря на имеющиеся медико-санитарные правила, целью которых является «предотвращение международного распространения болезней, предохранение от них, борьба с ними и принятие ответных мер на уровне общественного здравоохранения...». Труднооспоримым фактом также будет являться и второй критерий – «наличие значительных последствий». Итоговые оценки только подтверждённых случаев заболеваний и смерти составили на момент окончания пандемии (май 2023 г.) 6,94 млн случаев смерти и 766,15 млн случаев заболеваний, на начало октября 2024 г. – 7,07 млн и 776,55 млн соответственно [3]. Однако реальный масштаб воздействия на глобальную медико-демографическую ситуацию более значим при учёте избыточных уровней заболеваемости и смертности населения, в т. ч. связанных с другими причинами болезней и смерти, а также при оценке сопутствующих социально-экономических последствий. Наличие рационального объяснения [4] появления и развития самой пандемии является третьим критерием для отнесения данного события к типу «чёрный лебедь».

Цель исследования – выполнить анализ последствий влияния эпидемического процесса COVID-19 на медико-демографическую ситуацию.

Материалы и методы. Основной метод исследования – контент-анализ данных научной литературы в области исследования по библиографическим ссылкам релевантной научной литературы в международных библиографических и реферативных базах данных РИНЦ, SCOPUS, Web of Science, PubMed, Cochrane Library, медицинских журналах The Lancet, PLOS Medicine, British Medical Journal (BMJ), The Journal of the American Medical Association (JAMA) и других, в медицинских библиотеках National Library of Medicine (NLM USA), WHO IRIS (Switzerland), специализированных медицинских веб-ресурсах (Medscape). Поиск публикаций осуществлялся по выбранным ключевым словам.

Результаты. Последствия COVID-19 до сих пор анализируются по многим направлениям, в т. ч. для извлечения полезного опыта по противодействию процессам подобного масштаба. Можно выделить несколько основных взаимосвязанных явлений, ассоциированных с пандемией: рефакторизация структуры причин заболеваемости и смертности населения, «эффект жатвы», усиление антивакцинаторского движения. В данном направлении исследовательских работ имеются оценки, показывающие как рефакторизацию причин смерти населения [5, 6], так и усиление взаимодействия между ними [7]. Результаты [8] оценки влияния COVID-19 на здоровье населения в Европе показали существенный рост смертности в Европе в 2020–2022 гг., ассоциированной с пандемией. Уровни избыточной смертности варьировались в зависимости от социально-экономических факторов, таких как бедность и неравенство доходов, а также уровень вакцинации. Авторами заявляется необходимость изучения долгосрочных последствий пандемии.

Долгосрочные эффекты на медико-демографическую ситуацию подтверждаются на примере национального когортного исследования [9] из Эстонии, в котором показано, что заражение COVID-19 значительно повышает риск смерти не только в острый период болезни, но и в течение целого года после заражения, особенно среди пожилых людей. При этом повышенный риск смерти обусловлен различны-

ми причинами, включая сердечно-сосудистые, онкологические и респираторные заболевания.

В рамках исследования [10] избыточной смертности населения Европы с использованием контрфактического моделирования (сценарий отсутствия COVID-19) выдвигается предположение об ускорении смертности среди населения из групп риска (люди старше трудоспособного возраста), так называемый «эффект жатвы», который сейчас активно обсуждается среди специалистов [11].

Несмотря на научно обоснованные результаты оценок эффективности вакцинации, в т. ч. против COVID-19, исследователи отмечают, что среди населения различных стран под действием искажения достоверной информации, обусловленной инфодемией, формируются когнитивные искажения (страх, недоверие, самоуверенность), усиливающие антивакцинаторское движение, которое усугубляет последствия пандемии [12].

До распространения новой коронавирусной инфекции основными причинами смерти населения большинства стран мира являлись болезни системы кровообращения, онкологические заболевания, болезни органов дыхания и другие хронические неинфекционные болезни, стоявшие на повестке дня Всемирной организации здравоохранения, её региональных бюро и многих национальных систем здравоохранения. Высокая распространенность инфекционных заболеваний и их существенный вклад в общую заболеваемость и смертность населения исторически были ассоциированы с наличием структурных факторов риска, таких как жаркий климат и недостаточная развитость систем здравоохранения и эпидемиологического надзора, зачастую наблюдаемых в сочетании данных модификаторов. Значительную озабоченность мирового сообщества вызывали, главным образом, циркулирующие штаммы антропонозных инфекций, которые периодически становились причиной эпидемий и пандемий, охватывающих обширные территории. Классическим примером данных процессов является вирус гриппа.

В качестве вероятных угроз глобальной безопасности эпидемиологами указываются новые (emerging) инфекционные заболевания, возникающие от ранее необнаруженных, неизвестных инфекционных агентов, либо от инфекционных агентов, расширивших свой ареал обитания, а также повторное распространение возбудителей, ранее вызывавших значимые уровни заболеваемости и смертности (re-emerging infectious diseases) – SARS, MERS, лихорадка Эбола, Зика, Чикунгунья и другие. Несмотря на существующие системы эпидемиологического надзора, международные медико-санитарные правила, другие формы и средства профилактики распространения инфекционных заболеваний, предполагающие международное сотрудничество и консолидированный ответ стран на подобные угрозы, в действительности в мире наблюдался стремительный рост заболеваемости и смертности от нового инфекционного заболевания. Пандемия COVID-19 значительно повлияла на регулярную работу систем здравоохранения во всём мире, что привело к огромному дефициту в оказании первичной медико-санитарной помощи и крайне острой потребности в новых вакцинах. Подобная недооценка вероятной угрозы привела к кризису мирового здравоохранения, во многих странах наблюдаются избыточные уровни заболеваемости и смертности населения, как из-за прямого воздействия COVID-19 (заболевание, смерть), так и из-за её косвенного влияния (отсрочка диагностики и лечения плано-

вых случаев из-за повышенной нагрузки на системы здравоохранения, ущерб экономике ввиду противоэпидемических мероприятий).

Особенностью настоящей пандемии также являлось наличие высокой доли группы риска в структуре населения многих стран (по большей части развитых и развивающихся) по причине последних тенденций постарения населения. Кроме того, появляется всё больше данных о COVID-19 как о факторе, провоцирующем развитие и утяжеление течения множества значимых неинфекционных заболеваний, инициирующем постковидный синдром (post-COVID-19 syndrome; long COVID), что в совокупности является «эхом» пандемии, отдалёнными последствиями, продолжающими снижать качество жизни населения и отражающимися в медико-демографических характеристиках населения. При этом во время пандемии различные конфигурации факторов (профили) риска в разных группах населения оказали разную степень влияния (неравенство) на общественное здоровье в отношении заболеваемости и смертности населения, обуславливая двойное бремя болезней – синдrome COVID-19 и хронических неинфекционных заболеваний. Дополнительным фактором, оказавшим негативное влияние на здоровье, являлась так называемая инфодемия – «... *состояние информационной среды с избытком информации, включая ложную...*», которая, в том числе, способствовала пролонгации эпидемического процесса из-за противоречивых сообщений о профилактике и лечении коронавирусной инфекции. В данном аспекте всё большую актуальность приобретают работы в области социальной эпидемиологии, которая предусматривает исследование здоровья человека неотрывно от окружающих его социальных условий.

После окончания пандемии COVID-19 в сфере общественного здравоохранения особую значимость приобретает рост заболеваемости по причине гриппа и ОРВИ. Снижение заболеваемости COVID-19, отмена большинства ограничительных мероприятий освободили «нишу» респираторных заболеваний для традиционных сезонных инфекций. Вместе с тем факторы среды обитания, обуславливающие распространение данных инфекций, во многом схожи из-за идентичных путей и механизмов передачи, в связи с чем установление данных факторов приобретает особую значимость.

Согласно Указу Президента Российской Федерации № 400 от 02.07.2021 г. «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации» первостепенным национальным приоритетом для страны является сбережение народа России и развитие человеческого потенциала путём комплексного решения ряда разносторонних задач, в том числе: увеличение ожидаемой продолжительности жизни, снижение смертности и уровня инвалидизации населения, профилактики профессиональных заболеваний; увеличение доходов; повышение качества социальных услуг, медицинской помощи; повышение мотивации ведения гражданами здорового образа жизни; развития системы мониторинга биологических рисков; обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения; повышение качества образования и другие. Помимо этого актуальным документом является новая версия Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, в которой обозначены такие большие угрозы как «демографический переход, обусловленный снижением рождаемости, увеличением продолжительности жизни, изменением образа жизни...», «возрастание антропогенных нагрузок на окружающую среду ...»,

рост рисков для жизни и здоровья граждан», «...увеличение риска появления новых и возврата исчезнувших инфекций...», а также новые факторы (размывание дисциплинарных и отраслевых границ в научных исследованиях и разработках), и направления персонализированной медицины.

Точки приложения и вектора угроз, исходящие от пандемии COVID-19, в том числе в долгосрочной перспективе, во многом совпадают с задачами по развитию человеческого потенциала, решение которых способно устранить уязвимости в контуре безопасности общественного здоровья. Очевидна множественность нелинейных причинно-следственных связей как между факторами, детерминирующими состояние здоровья общества, так и между данными факторами и ответами со стороны общественного здоровья. При этом видится системный характер связи между потенциальными показателями, характеризующими данную систему, что может проявляться различными реакциями всей системы на изменение любого из её компонентов (целостность системы, принцип обратной связи). Вместе с тем данная система не жёстко детерминирована, не закрыта, что позволяет гибко подходить к её анализу и прогнозированию её изменения.

Рост вычислительной мощности, появление качественных наборов данных для обучения и развитие алгоритмов обучения привели к широкому распространению методов многомерного анализа на основе нейронных сетей. Данный метод анализа уже используется во множестве областей наук для решения подобных задач.

Заключение. Таким образом, по результатам выполненного анализа можно сформулировать ряд выводов:

1. Пандемия COVID-19 оказала глубокое и многогранное воздействие на медико-демографические показатели, не ограничиваясь прямой смертностью от вируса. Реальные последствия, включая избыточную смертность и долгосрочные осложнения, могут значительно превышать официальные данные о подтвержденных случаях.

2. В ходе пандемии выявлены системные недостатки в глобальной и национальных системах здравоохранения и готовности к подобного рода событиям, включая недооценку угрозы, перегрузку медицинских служб и дезинформацию («инфодемия»), что усугубило последствия.

3. Ключевым выводом является непропорциональное влияние пандемии на уязвимые группы населения (пожилые, лица с хроническими заболеваниями, социально незащищенные слои), что привело к росту социального и медицинского неравенства («синдемия» угрозы).

4. Отдельного внимания заслуживают отдалённые последствия пандемии, такие как «long-COVID», «эффект жатвы» и др., которые продолжают негативно влиять на качество жизни и медико-демографические показатели даже после окончания пандемии.

5. Установленные особенности пандемии COVID-19 обосновывают потребность в принципиально новых, системных и гибких подходах к управлению рисками в общественном здравоохранении, санитарно-эпидемиологическом благополучии, включая использование современных методов анализа данных (нейросети) для прогнозирования и разработки превентивных мер в соответствии с национальными стратегиями развития.

Результаты настоящего исследования могут способствовать увеличению потенциала практического применения полученных научных и научно-технических

результатов с учётом приоритетов Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Результаты исследования могут использоваться при научном обосновании программ медико-демографического развития территорий, медико-профилактических мероприятий по улучшению санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Список литературы

1. Талёб Н.Н. Черный лебедь. Под знаком непредсказуемости. – Москва: КоЛибри, 2024. – 704 с.
2. Черкасский Б.Л. Глобальная эпидемиология. – М.: Практическая медицина, 2008. – 447 с.
3. OurWorldInData [Электронный ресурс]. – URL: <https://ourworldindata.org/coronavirus> (дата обращения: 04.08.2025).
4. Origin of SARS-CoV-2. [Электронный ресурс]. – URL: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/332197/WHO-2019-nCoV-FAQ-Virus_origin-2020.1-eng.pdf (дата обращения: 04.08.2025).
5. Баянова Т.А., Зайкова З.А., Кравченко Н.А. Влияние пандемии COVID-19 на структуру и уровень смертности // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2022. – Т. 30(12). – С.17–23. DOI: 10.35627/2219-5238/2022-30-12-17-23
6. Горошко Н.В., Пацала С.В. Основные причины избыточной смертности населения в России в условиях пандемии COVID-19 [Электронный ресурс] // Социальные аспекты здоровья населения – 2021. – Т. 67 (6). – С. 1. – URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1315/30/lang,ru/> (дата обращения: 04.08.2025).
7. Li H. How Did COVID-19 Change the Dependence Structure Across Major Causes of Death? [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.soa.org/4ae322/globalassets/assets/files/resources/essays-monographs/2023-living-to-100-compendium/2023-living-to-100-comp-li.pdf> (дата обращения: 04.08.2025).
8. Impact of COVID-19 on total excess mortality and geographic disparities in Europe, 2020-2023: a spatio-temporal analysis / M. Pizzato, A.G. Gerli, C. La Vecchia, G. Alicandro // The Lancet regional health. Europe. – 2024. – Vol. 44. – P. 100996. DOI: 10.1016/j.lanepe.2024.100996
9. Long-term mortality following SARS-CoV-2 infection: A national cohort study from Estonia / A. Uusküla, T. Jürgenson, H. Pisarev, R. Kolde [et al.] // The Lancet regional health. Europe – 2022. – Vol. 18. – P. 100394. DOI: 10.1016/j.lanepe.2022.100394
10. Direct and indirect effects of the COVID-19 pandemic on mortality in Switzerland / J. Riou, A. Hauser, A. Fesser, C.L. Althaus, M. Egger, G. Konstantinoudis // Nat Commun. – 2023. – Vol. 14 (1). – P. 90. DOI: 10.1038/s41467-022-35770-9
11. Maruotti A., Ciccozzi M., Jona-Lasinio G. COVID-19-induced excess mortality in Italy during the Omicron wave // IJID regions. – 2022. – № 4. – P. 85–87. DOI: 10.1016/j.ijregi.2022.07.005
12. Pourrazavi S., Fathifar Z., Sharma M., Allahverdi-pour H. COVID-19 vaccine hesitancy: A Systematic review of cognitive determinants // Health Promot Perspect. – 2023. – Vol. 13 (1). – P. 21–35. DOI: 10.34172/hpp.2023.03

Эпидемическая ситуация по геморрагической лихорадке с почечным синдромом в Северо-Западном федеральном округе в 2014–2024 гг.

Д.И. Гречишкина, Н.К. Токаревич

ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) – это широко распространенное зоонозное заболевание. С целью выявления современных тенденций развития и региональных особенностей эпидемического процесса ГЛПС на территории Северо-Западного федерального округа (СЗФО) был проведен ретроспективный эпидемиологический анализ заболеваемости населения ГЛПС в СЗФО за 2014–2024 гг.

В 2014–2023 гг. в СЗФО зарегистрировано более 1,7 тыс. случаев ГЛПС. Среднемноголетний показатель заболеваемости составил 1,17 на 100 тыс. населения. Выявлены региональные особенности проявлений эпидемического процесса ИКБ. ГЛПС относится к числу актуальных проблем здравоохранения в СЗФО. Для эффективного контроля эпидемической ситуации необходимо совершенствование проводимых профилактических мероприятий и эпидемиологического надзора.

Ключевые слова: геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, эпидемический процесс, Северо-Западный федеральный округ.

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) – широко распространенное зоонозное заболевание, которое характеризуется поражением мелких сосудов, гемодинамическими расстройствами и поражением почек [1].

Возбудители ГЛПС принадлежат к роду *Orthohantavirus*, семейству *Hantaviridae*, отряду *Bunyavirales*. В настоящее время идентифицировано 38 видов ортохантавирусов [2], из которых большинство способны вызывать инфекционные заболевания у человека [3]. Основными резервуарами ортохантавирусов являются грызуны. Заражение людей происходит, как правило, при вдыхании аэрозолей, загрязненных инфицированными выделениями грызунов (фекалий, мочи и слюны) или при укусах грызунов. К группам риска относятся жители сельской местности, охотники, фермеры и другие лица, чья деятельность может быть связана с частыми контактами с резервуарами [4, 5].

ГЛПС является серьезной проблемой для системы здравоохранения в Азии и Европе. Данное заболевание обнаружено более чем в 30 странах, таких как Россия, Китай, Япония и др. Ежегодно в мире регистрируется более 200 000 случаев ГЛПС [6].

В Российской Федерации ГЛПС регистрируется в 67 субъектах и характеризуется высокими показателями заболеваемости. По данным официальной статистики за последние 25 лет, начиная с 2000 г., в РФ было зарегистрировано более 170 тысяч случаев ГЛПС. Экономический ущерб, наносимый ГЛПС, ежегодно составляет миллиарды рублей [1]. На территории Северо-Западного федерального округа (СЗФО)

ГЛПС регистрируется в 10 субъектах из 11 и занимает первое место по уровню заболеваемости среди природно-очаговых инфекций вирусной этиологии.

Широкое распространение, серьезный экономический ущерб, недостаточность диагностики и, как результат, отсутствие объективных данных о распространенности данного заболевания, тяжелое течение болезни, развитие серьезных осложнений, отсутствие специфических методов профилактики в России определяет актуальность данной темы.

Цель работы – выявить современные тенденции развития и региональные особенности эпидемического процесса геморрагической лихорадки с почечным синдромом на территории СЗФО в период 2014–2024 гг.

Материалы и методы. Для изучения эпидемической ситуации по ГЛПС были проанализированы данные Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзора) по Архангельской области, Управления Роспотребнадзора по Вологодской области, Управления Роспотребнадзора по Калининградской области, Управления Роспотребнадзора по Республике Карелия, Управления Роспотребнадзора по Республике Коми, Управления Роспотребнадзора по Ленинградской области, Управления Роспотребнадзора по Ненецкому автономному округу, Управления Роспотребнадзора по Мурманской области, Управления Роспотребнадзора по Новгородской области, Управления Роспотребнадзора по Псковской области, а также Управления Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу, опубликованные в государственных докладах «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения», а также формы статистической отчетности № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» в 2014–2024 гг. Полученные данные были обработаны стандартными методами вариационной статистики с применением пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение. Согласно данным официальной статистики, на территории РФ в 2014–2024 гг. всего было зарегистрировано 76 342 случая ГЛПС. Среднегодовой показатель заболеваемости (СМПЗ) составил 4,75 (95 % ДИ 3,11 ÷ 6,38) на 100 тыс. населения (‰_{0000}). На протяжении изучаемого периода отмечаются циклические подъемы заболеваемости каждые 3–4 года.

Максимальное количество случаев заболевания ГЛПС в РФ за исследуемый период отмечалось в 2019 году – 13 996 случаев, минимальное (2 289 случаев) – в 2021 г. (рис. 1). На 2021 год пришлось пандемия COVID-19, малое количество зарегистрированных заболеваний ГЛПС в этот год может быть связано с введением карантинных мероприятий, ограничением перемещения населения, снижением эффективности выявления ГЛПС из-за перегрузки системы здравоохранения [7, 8].

На территории СЗФО за изучаемый период было зарегистрировано 1782 случая ГЛПС, что составляет 2,3 % всех случаев, зарегистрированных на территории РФ за данный период времени. Случаи заболевания ГЛПС регистрировались во всех субъектах СЗФО, кроме Ненецкого автономного округа. СМПЗ составил 1,17 (0,83 ÷ 1,50) на 100 тыс. населения (‰_{0000}). В СЗФО отмечаются циклические подъемы заболеваемости ГЛПС каждые 3–4 года, которые в целом совпадают с подъемами заболеваемости в РФ.

Максимальное количество случаев заболевания ГЛПС в СЗФО отмечалось в 2019 году – 275 случаев, минимальное пришлось на 2021 г. – 76 (рис. 1).



Рис. 1. Динамика показателей заболеваемости ГЛПС в РФ и СЗФО в 2014–2024 гг. (на 100 тыс. населения)

Основным этиологическим агентом ГЛПС в РФ в целом, и в СЗФО в частности, является ортохантавирус вида *Hantaan* [8, 9].

На территории СЗФО распределение случаев заболевания ГЛПС неравномерно: в южных регионах регистрируются более высокие уровни заболеваемости, чем в северных (рис. 2). Вероятно, это связано с распространенностью и численностью мелких грызунов, наличием кормовой базы для них, ландшафтными и климатическими особенностями территорий и т.д. [8] Циклические подъемы заболеваемости ГЛПС коррелируют с колебаниями численности мелких грызунов – основного резервуара инфекции [10].

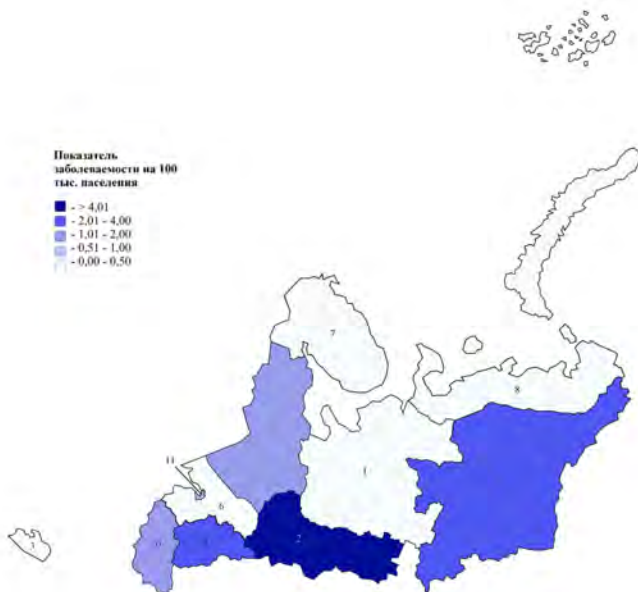


Рис. 2. Ранжирование субъектов СЗФО по СМПЗ ГЛПС (‰) в 2014–2024 гг.: 1 – Архангельская область, 2 – Вологодская область, 3 – Калининградская область, 4 – Республика Карелия, 5 – Республика Коми, 6 – Ленинградская область, 7 – Мурманская область, 8 – Ненецкий автономный округ, 9 – Новгородская область, 10 – Псковская область, 11 – г. Санкт-Петербург

Наиболее высокие уровни СМПЗ в 2014–2024 гг. отмечались в следующих субъектах: в Вологодской области – 4,51 ‰ (3,27 ÷ 5,74), в Новгородской области – 3,19 ‰ (2,03 ÷ 4,35), в Республике Коми – 2,03 ‰ (0,86 ÷ 3,19). В Республике Карелия СМПЗ составил 1,85 ‰ (1,24 ÷ 2,46), в Псковской области – 1,11 ‰ (0,42 ÷ 1,79), в г. Санкт-Петербурге – 0,82 ‰ (0,47 ÷ 1,18), в Ленинградской области – 0,37 ‰ (0,16 ÷ 0,58), в Архангельской области – 0,30 ‰ (0,12 ÷ 0,47). Самые низкие показатели отмечались в Мурманской области – 0,14 ‰ (0,00 ÷ 0,28) и Калининградской – 0,07 ‰ (0,00 ÷ 0,16). В Ненецком автономном округе случаев заболеваний ГЛПС за исследуемый период не зарегистрировано.

Серологические исследования, проводимые в отдельных регионах СЗФО, указывают на то, что реальный уровень заболеваемости ГЛПС может быть значительно выше регистрируемого. Это может быть связано с трудностями клинической диагностики из-за развития неспецифических симптомов и недостаточными объемами лабораторных исследований [11, 12].

В возрастной структуре заболевших по РФ в 2014–2024 гг. дети до 17 лет составляют 4,00 %, СМПЗ детей 0,95 ‰ (0,65 ÷ 1,24). В СЗФО в возрастной структуре заболевших за изучаемый период дети до 17 лет составляют 2,86 %, СМПЗ детей 0,18 ‰ (0,12 ÷ 0,25). Наиболее высокие СМПЗ среди детей отмечаются в Новгородской (0,86 ‰, 0,08 ÷ 1,64) и Вологодской областях (0,67 ‰, 0,37 ÷ 0,98). В Псковской области СМПЗ детей составил 0,40 ‰ (0,09 ÷ 0,71), в Республике Коми – 0,25 ‰ (0,00 ÷ 0,50), в Республике Карелия – 0,22 ‰ (0,00 ÷ 0,47), в Ленинградской области – 0,16 ‰ (0,00 ÷ 0,37), в Калининградской области – 0,05 ‰ (0,00 ÷ 0,15), в Архангельской области – 0,04 ‰ (0,00 ÷ 0,13), в г. Санкт-Петербурге – 0,02 ‰ (0,00 ÷ 0,06). В Мурманской области и Ненецком автономном округе случаев заболеваний ГЛПС среди детей за исследуемый период не зарегистрировано. Более 60 % заболевших в СЗФО приходится на возрастную группу 30–59 лет, мужчины заражались чаще женщин.

Уровень заболеваемости детского населения в РФ и СЗФО значительно ниже уровня заболеваемости взрослого населения, что, возможно, связано с частотой контактов данной возрастной группы с природными очагами. Однако стоит также учитывать тот факт, что клиническое течение ГЛПС у детей имеет ряд существенных отличий от взрослых и зачастую характеризуется развитием только неспецифических симптомов, что создает трудности как для диагностики, так и для лечения [13].

Ежегодно более 40 % случаев ГЛПС в СЗФО приходится на бытовые заражения по месту жительства. Такие заражения связаны с миграцией грызунов в постройки (в том числе жилые дома) и загрязнением пищевых продуктов и бытовых предметов испражнениями грызунов. Заражение происходит при проведении уборки, ремонтных работ, употреблении плохо обработанных продуктов и т.д. [14, 15]. Частыми обстоятельствами заражения также являлись пребывания на садово-дачных участках и в лесу, реже – заражения, связанные с трудовой деятельностью. На заболевания средней степени тяжести ежегодно приходится около 80 % всех случаев ГЛПС [9].

В структуре заболеваемости по ГЛПС в РФ городское население преобладает над сельским – 65 и 35 % соответственно, что примерно отражает соотношение горожан к сельскому населению. При этом СМПЗ сельского населения в РФ за 2014–2024 гг. значительно выше СМПЗ городского населения – 6,42 ‰ (4,60 ÷ 8,24) и

4,14 ‰ (2,58 ÷ 5,76) соответственно. В СЗФО городское население также преобладает над сельским – 74 и 26% соответственно. СМПЗ сельского населения в СЗФО за 2014–2024 гг. составляет 1,97 ‰ (1,44 ÷ 2,50), а городского населения – 1,03 ‰ (0,71 ÷ 1,35). СМПЗ сельского населения значительно превышает СМПЗ городского населения в Республике Коми (6,98 ‰ (2,72 ÷ 11,25) и 0,59 ‰ (0,23 ÷ 0,95) соответственно). В г. Санкт-Петербурге и Мурманской области случаи ГЛПС были зарегистрированы только среди городского населения. В остальных регионах СЗФО СМПЗ городского и сельского населения отличаются незначительно.

СМПЗ сельского населения выше СМПЗ городского, что указывает на более частые контакты сельского населения с природными очагами.

За исследуемый период в СЗФО зарегистрировано 6 летальных случаев от ГЛПС: три случая в Новгородской области, два – в Республике Коми и один – в Псковской области. Как правило, причиной летальных исходов служат осложнения ГЛПС, такие как шок, менингоэнцефалит, отек легких и т.д. [9].

Заключение. Несмотря на сравнительно невысокие показатели заболеваемости, эпидемическая ситуация по ГЛПС в СЗФО остается напряженной. Наиболее эффективным способом снижения заболеваемости ГЛПС остается применение мер неспецифической профилактики.

Для эффективного контроля эпидемической ситуации по ГЛПС необходимо увеличение объемов и повышение качества проводимых профилактических мероприятий, таких как санитарно-просветительская работа, дератизационные обработки, регулярное проведение зоолого-энтомологического мониторинга природных очагов, совершенствование диагностических методов, разработка методов специфической профилактики, а также совершенствование системы эпидемиологического надзора.

Список литературы

1. Хантавирусные болезни: обзор эпидемиологической ситуации в мире. Анализ эпидемиологической ситуации по геморрагической лихорадке с почечным синдромом в Российской Федерации в 2023 г. и прогноз на 2024 г. / Т.А. Савицкая [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. – 2024. – №. 1. – С. 113–124.
2. ICTV [Электронный ресурс]. – URL: <https://ictv.global/taxonomy> (дата обращения 05.08.2025).
3. Hemorrhagic fever with renal syndrome in Asia: history, pathogenesis, diagnosis, treatment, and prevention / A. Sehgal [et al.] // Viruses. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 561.
4. Hantavirus infections in the South-Eastern European countries: A study of two cases and literature review / G. Lupuşoru [et al.] // Experimental and Therapeutic Medicine. – 2023. – vol. 26. – no. 3. – pp. 430.
5. Occupational hantavirus infections in agricultural and forestry workers: a systematic review and metanalysis / M. Riccò [et al.] // Viruses. – 2021. – Vol. 13, № 11. – P. 2150.
6. Hantavirus: an overview and advancements in therapeutic approaches for infection / S. Afzal [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2023. – Vol. 14.
7. Здравоохранение России в период пандемии COVID-19: вызовы, системные проблемы и решение первоочередных задач / В.С. Ступак [и др.] // Профилактическая медицина. – 2022. – Т. 25, №. 11. – С. 21–27.

8. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: эпидемическая ситуация на территории Российской Федерации / Т.В. Арбузова [и др.] // Инфекционные болезни. – 2024. – Т. 22, № 3. – С. 66–75.

9. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом: актуальное состояние проблемы в Российской Федерации и оценка эпидемиологических рисков на 2025 год / А.В. Иванова [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. – 2025, № 2. – С. 17–28.

10. Связь эпидемического процесса хантавирусной инфекции с эпизоотическим процессом в популяциях мышей рода *Apodemus* / Р.А. Слонова [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2010. – № 3 (41). – С. 34–37.

11. Оценка распространенности лептоспирозов и геморрагической лихорадки с почечным синдромом в Ленинградской области / Е.Г. Рябико [и др.] // Проблемы особо опасных инфекций. – 2024. – № 3. – С. 163–169.

12. Эпидемиологическая, экологическая и клинико-лабораторная характеристика геморрагической лихорадки с почечным синдромом в Санкт-Петербурге и его пригородах / В.В. Нечаев [и др.] // Журнал инфектологии. – 2021. – Т. 13, № 2. – С. 126–134.

13. Егоров В.Б. Клинические проявления и исходы геморрагической лихорадки с почечным синдромом у детей различных возрастов // Педиатр. – 2010. – Т. 1, № 2. – С. 43–46.

14. Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом. Современная эпидемиология / Д.Х. Хунафина [и др.] // Медицинский альманах. – 2009. – № 2. – С. 154–156.

15. Андропова Л.Н., Ланцова Н.М. Анализ демографических проблем городского и сельского населения России и подходы к их решению // Вопросы территориального развития. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 4.

Гигиеническая оценка качества воды р. Вирма – источника водоснабжения села Ловозеро Мурманской области

Д.С. Исаев¹, А.А. Степанян¹, А.А. Ковшов^{1,2}

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья»,

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова»,
г. Санкт-Петербург, Россия

В источнике централизованного водоснабжения села Ловозеро Мурманской области отмечается несоответствие качества воды гигиеническим нормативам. Проведение гигиенической оценки качества воды р. Вирма на основе данных лабораторных исследований различных ведомств позволит обосновать выбор приоритетных показателей, которые должны быть включены в программы производственного контроля качества и

безопасности воды водоисточников. Материалами исследования послужили данные экологического и социально-гигиенического мониторингов качества воды поверхностных источников водоснабжения за 2018–2023 гг., полученные от ФГБУ «Мурманское УГМС» и Управления Роспотребнадзора по Мурманской области. Проведенное исследование позволило оценить риски здоровью населения с. Ловозеро и определить перечень приоритетных показателей, которые необходимо включать в программы производственного контроля качества воды р. Вирма.

Ключевые слова: поверхностные воды, качество питьевой воды, Мурманская область, Ловозеро, оценка риска здоровью.

Одной из национальных целей согласно указу Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» является «Комфортная и безопасная среда для жизни». В рамках обозначенной цели запланирована задача «строительство и реконструкция (модернизация) не менее чем 2000 объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки к 2030 году». Это свидетельствует о том, что подача населению качественной питьевой воды является приоритетом государства. В Арктической зоне Российской Федерации существуют особые условия и факторы среды обитания, которые оказывают существенное влияние на жизнь и здоровье населения. В связи с этим выполнение исследований качества питьевой воды на данной территории является актуальной задачей.

В материалах Государственного доклада «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Мурманской области в 2024 г.» в Ловозерском районе отмечается несоответствие качества воды в источниках централизованного водоснабжения требованиям гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям. Доля проб воды в местах водозабора из источников централизованного водоснабжения района, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, составила в 2023 г. 22,2 %, в 2024 г. – 6,3 %; доля проб воды из распределительной сети, не соответствующих гигиеническим нормативам, составила в 2023 г. 68,0 %, в 2024 г. – 26,2 %. При этом в 2022 г. неудовлетворительных проб воды как в местах водозабора, так и в распределительной сети не зарегистрировано.

Село Ловозеро – административный центр Ловозерского района Мурманской области, который является основным местом компактного проживания в регионе коренных народов Крайнего Севера (коми, саамы, ненцы).

Источником водоснабжения с. Ловозеро является р. Вирма. Для изучаемого водного объекта характерны общие особенности поверхностных вод Мурманской области, выражающиеся в крайне низкой минерализации, а также в повышенном содержании органических веществ и некоторых металлов. Кроме того, для поверхностных водных объектов Мурманской области характерна подверженность влиянию обильных паводков, которые приводят к ухудшению качества воды в источнике [1–3].

Для централизованного водоснабжения в с. Ловозеро используется подрусловый водозабор, расположенный на правом берегу р. Вирма, в 6 км от устья.

В настоящее время схема водоподготовки включает в себя следующие этапы: хлорирование, коагуляция и фильтрация. Важно отметить, что в зависимости от количества реагентов (коагулянта, жидкого хлора, соды и гипохлорита натрия) меняют-

ся значения pH, Eh, химический состав воды, состав новообразованных фаз, в связи с чем несоответствие качества питьевой воды гигиеническим нормативам требует тщательного изучения [4]. Для формирования инвестиционных программ и планов по приведению качества питьевой воды в соответствие с гигиеническими нормативами необходимо анализировать данные расширенных исследований качества воды, в том числе различных ведомств [5, 6].

Цель исследования – определить приоритетные показатели качества воды р. Вирма на основе гигиенической оценки и оценки риска здоровью населения.

Материалы и методы. Работа выполнена на основании информации о качестве воды поверхностных источников водоснабжения за 2018–2023 гг., полученной из ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ФГБУ «Мурманское УГМС»), результатов социально-гигиенического мониторинга (СГМ) за 2018–2023 гг., проводимого Управлением Роспотребнадзора по Мурманской области, а также производственного контроля качества воды в источнике, выполняемого водоснабжающей организацией, за 2023 год. Отбор проб питьевой воды в рамках экологического контроля осуществляется в 3,5 км ниже с. Ловозеро, на расстоянии 0,5 км от устья. Проводилась оценка соответствия показателей качества питьевой воды требованиям СанПиН 1.2.3685-21¹. Оценка риска здоровью выполнена в соответствии с действующим руководством² на основании данных СГМ и мониторинга загрязнения окружающей среды.

Результаты. В рамках мониторинга загрязнения окружающей среды в р. Вирма исследовались следующие показатели:

1. Санитарно-химические: алюминий, аммоний-ион, ПАВ анионоактивные, железо, калий, кальций, марганец, магний, медь, молибден, натрий, никель, нитрат-ион, нитрит-ион, свинец, сульфаты, фосфор общий, фосфор фосфатный, фториды, хлориды, цинк.

2. Обобщенные: pH, БПК₅, взвешенные вещества, нефтепродукты, растворенный кислород, температура, удельная электропроводность (УЭП), ХПК.

Исследования на органолептические, санитарно-микробиологические, паразитологические и радиологические показатели не проводились.

В рамках СГМ в р. Вирма исследовались следующие показатели:

1. Санитарно-химические: аммоний-ион, бенз(а)пирен, железо, кадмий, марганец, медь, мышьяк, никель, нитраты, нитриты, фосфаты, ртуть, свинец, сульфаты, хром, цинк, гидроксibenзол (фенол).

2. Обобщенные: БПК₅, ПАВ анионоактивные, растворенный кислород, pH, ХПК.

3. Санитарно-микробиологические и паразитологические: E.coli, жизнеспособные яйца гельминтов и цисты патогенных кишечных простейших, ооцисты

¹ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosпотребнадзор.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf (дата обращения: 22.06.2025).

² Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/408644981/> (дата обращения: 22.06.2025).

криптоспоридий, колифаги, общие колиформные бактерии (ОКБ), термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ).

4. Радиологические (показатели радиационной безопасности): удельная суммарная альфа-активность, удельная суммарная бета-активность.

Исследования на органолептические показатели не проводились.

В рамках производственного контроля в р. Вирма исследовались следующие показатели:

1. Санитарно-микробиологические: ОКБ, общее микробное число (ОМЧ), колифаги, E.coli.

2. Паразитологические: жизнеспособные яйца гельминтов и цисты патогенных кишечных простейших, ооцисты криптоспоридий.

3. Органолептические: запах, цветность, мутность (по каолину), окраска, взвешенные вещества, плавающие примеси.

4. Обобщенные показатели: рН, окисляемость перманганатная, нефтепродукты, ПАВ анионоактивные, температура, БПК₅, ХПК, растворенный кислород, щелочность.

5. Санитарно-химические: аммоний-ион, железо, марганец, медь, нитраты, нитриты, сульфаты, фториды, хлориды, остаточный хлор свободный, остаточный хлор суммарный, хлороформ.

6. Радиологические: удельная суммарная альфа-активность, удельная суммарная бета-активность.

Медианные и максимальные значения показателей качества воды в р. Вирма, превышающие ПДК по данным СГМ, представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Превышение гигиенических нормативов в р. Вирма по данным социально-гигиенического мониторинга в 2018–2023 гг.

Показатели	ПДК	Чис- ло проб	Значения показателей	Годы				
				2018	2019	2020	2021	2022
Санитарно-химические								
Бенз(а)пирен	0,00001	3	Мед	-	-	-	0,00025	0,0005
			Макс	-	-	-	0,0005	0,0005
Железо	0,3	17	Мед	0,05	0,124	0,131	0,142	0,227
			Макс	0,065	0,53	0,323	0,296	0,227
Ртуть	0,0005	4	Мед	0,00018	-	-	0,05005	0,1
			Макс	0,00018	-	-	0,1	0,1
Санитарно-микробиологические								
ОКБ	0	53	Мед	0	0	0	0	0
			Макс	200	0	15	38	0
ТКБ	0	50	Мед	0	0	0	0	0
			Макс	200	0	15	38	0

По результатам СГМ качества воды в источнике выявлены превышения показателей ОКБ, ТКБ, железа общего, бенз(а)пирена и ртути. Однако высокие значения для последних двух вызывают сомнения. Возможно, была допущена техническая ошибка при указании полученной концентрации.

Медианные и максимальные значения показателей качества воды в р. Вирма, превышающие ПДК по данным мониторинга загрязнения окружающей среды, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Превышение гигиенических нормативов в р. Вирма по данным мониторинга загрязнения окружающей среды в 2018–2023 гг.

Показа- тель	Ед. изм.	ПДК	Число проб	Значения показате- лей	Годы					
					2018	2019	2020	2021	2022	2023
Санитарно-химические показатели										
Фториды	мг/дм³	1,5	36	Мед	0,095	0,095	0,095	0,095	0,1055	0,05
				Макс	0,45	0,42	0,24	0,095	6,52	0,11
Железо	мг/дм³	0,3	36	Мед	0,4055	0,273	0,735	0,715	0,67	0,61
				Макс	1,654	1,564	1,101	1,7	1,45	1,1
Марганец	мг/дм³	0,1	36	Мед	0,0209	0,0113	0,025	0,074	0,0375	0,0234
				Макс	1,473	0,479	0,129	0,613	0,281	0,29
Свинец	мг/дм³	0,01	36	Мед	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0005	0,0005
				Макс	0,001	0,001	0,001	0,0021	0,0005	0,0126
Обобщенные показатели										
БПК5	мг/дм³	2	36	Мед	1,1	1,35	0,5	0,85	1,085	1,325
				Макс	2,1	1,7	1,3	2	1,96	2,81
ХПК	мг/дм³	15	36	Мед	17,95	19,5	24,5	19,75	15,75	14,55
				Макс	26,5	31	29,9	30,6	29,2	27,7

По результатам экологического мониторинга качества воды в источнике выявлены превышения показателей БПК₅, ХПК, железа, фтора, марганца и свинца.

Результаты статистического анализа содержания санитарно-химических, обобщенных, органолептических, санитарно-микробиологических, паразитологических и радиологических показателей качества воды р. Вирма на основе данных СГМ и УГМС приведены в таблице 3.

Таблица 3

Содержание нормируемых показателей качества воды
в р. Вирма за 2018–2023 гг.

Показатель	ПДК	Число проб	Min	Q1	Med	Q3	Max
Алюминий	0,2	24	0,005	0,027	0,038	0,0545	0,156
Аммоний-ион	2	89	0,0025	0,038	0,159	0,394	1,91
Бенз(а)пирен	0,00001	3	0	0,00025	0,0005	0,0005	0,0005
Железо	0,3	53	0,05	0,193	0,351	0,78	1,7
Кадмий	0,001	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Марганец	0,1	53	0,002	0,0122	0,0234	0,0522	1,473
Медь	1	53	0,0005	0,0006	0,0014	0,0023	0,0057
Молибден	0,07	36	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0017
Мышьяк	0,01	1	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Никель	0,02	53	0,001	0,0025	0,0025	0,01	0,0147
Нитраты	45	89	0,0025	0,025	0,1	0,151	0,72
Нитриты	3	89	0,001	0,004	0,005	0,0084	0,12
Полифосфаты	3,5	38	0,0032	0,005	0,0063	0,01375	0,089
Ртуть	0,0005	4	0,0001	0,00016	0,0509	0,1	0,1
Свинец	0,01	37	0,0005	0,0005	0,001	0,001	0,0126
Сульфаты	500	40	0,5	2,175	4,655	14,575	33,2
Хлориды	350	42	1,4	2,8	3,5	5,3	50
Хром	0,05	2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Цинк	5	53	0,0005	0,00236	0,0055	0,0099	0,0351
Кальций		36	1	2,0825	2,835	3,4775	11
Магний	50	36	0,48	0,8525	1,31	1,825	5,1
Калий		36	0,331	0,5	0,6535	0,9	2,2
Натрий	200	36	1,4	2,825	3,38	5,37	9,5
Фториды	1,5	36	0,05	0,095	0,095	0,095	6,52
Гидроксибензол (фенол)	0,001	3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
БПК ₅	2	40	0,25	0,5825	1,16	1,585	2,81
Взвешенные вещества	-	36	1	2,45	2,5	5,925	21
Нефтепродукты	0,1	36	0,006	0,00837	0,0121	0,016	0,048
ПАВ анионоактивные	0,5	38	0,0125	0,0125	0,0125	0,02187	0,09
Растворенный кислород	-	40	3,48	9,2125	9,765	11,325	12,7
pH	6-9	39	5,13	6,63	6,82	7,065	8,25
ХПК	15	40	3,1	13,675	18,5	24,15	31
E.coli	0	4	0	0	0	0	0

Показатель	ПДК	Число проб	Min	Q1	Med	Q3	Max
Жизнеспособные яйца гельминтов и цисты патогенных кишечных простейших, ооцисты криптоспоридий	0	40	0	0	0	0	0
Колифаги	0	53	0	-	-	-	0
ОКБ	0	53	0	-	-	-	200
ТКБ	0	50	0	-	-	-	200
Удельная суммарная альфа-активность	0,2	2	0,096	0,1075	0,119	0,1305	0,142
Удельная суммарная бета-активность	1	2	0,074	0,08675	0,0995	0,11225	0,125

Пр и м е ч а н и е : * – нет данных; **ЖЯГ и ЦПКП, ОТ – жизнеспособные яйца гельминтов и цисты патогенных кишечных простейших, онкосферы тениид

Результаты производственного контроля были представлены усредненными за год, что не позволяет их включать в общую таблицу. Средние значения и количество проб представлены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

Результаты производственного контроля показателей качества воды в р. Вирма за период 2023 г.

Показатель	Средняя концентрация	Количество проб	Количество проб с превышением ПДК
Железо, мг/л	0,06175	4	0
Марганец, мг/л	0,00250	4	0
Никель, мг/л	0,00168	4	0
Медь, мг/л	0,00048	4	0
Цинк, мг/л	0,00072	4	0
Хлориды, мг/л	2,50000	1	0
Аммоний-ион, мг/л	0,54392	12	0
Нитраты, мг/л	0,30775	12	0
Нитриты, мг/л	0,00621	12	0
Гидроксибензол (фенол), мг/л	0,00025	1	0
Ртуть, мг/л	0,00002	1	0
Бенз/пирен, мг/л	0,00000	1	0
Сульфаты, мг/л	5,00000	1	0
Хром, мг/л	0,01000	1	0
БПК ₅ , мг-О ₂ /дм ³	1,92000	4	1

Показатель	Средняя концентрация	Количество проб	Количество проб с превышением ПДК
ХПК, мг-О ₂ /дм ²	23,32500	4	3
Растворенный кислород, мг/дм куб.	10,60000	4	0
Полифосфаты, мг/л	0,00500	1	0
Удельная суммарная альфа-активность, бк/л	0,01000	1	0
Удельная суммарная бета-активность, бк/л	0,05000	1	0
Яйца гельминтов	0,00000	4	0
Цисты кишечных патогенных простейших	0,00000	4	0
Колифаги, БОЕ/100 мл	1,07692	13	1
Патогенная микрофлора	0,00000	1	0
Ооцисты	0,00000	4	0
E.coli	4,07692	13	0
ОКБ	8,53846	13	0
Энтерококки	9,30000	10	0

Как видно из таблицы 4, качество воды в р. Вирма не соответствует требованиям гигиенических нормативов по следующим показателям: ХПК, колифаги, E.coli, ОКБ и энтерококки.

Результаты оценки риска здоровью при употреблении воды из реки Вирма представлены в таблице 5. В таблице приведены канцерогены, а также вещества, для которых определены наибольшие значения коэффициентов опасности.

Т а б л и ц а 5

Результаты оценки риска здоровью при употреблении воды из р. Вирма

CAS	Вещество	RfD мг/кг/сут	SFo (мг/кг- день) ⁻¹	Ccp	HQ	CR
7440-38-2	Мышьяк	3,5E-06	1,5	0,0025	19,56947	4,40E-05
–	Хром (VI)	0,003	0,42	0,01	0,091324	4,93E-05
50-32-8	Бенз(а)пирен	0,0003	1	0,0005	0,045662	5,87E-06
7440-43-9	Кадмий	0,0005	0,38	0,0005	0,027397	2,23E-06
7439-92-1	Свинец		0,0085	0,001		9,98E-08
Суммарный канцерогенный риск					1,01E-04	

По результатам оценки риска здоровью для большинства приоритетных веществ определен допустимый (приемлемый) или минимальный уровень хронического неканцерогенного риска, за исключением мышьяка, воздействие которого формально характеризуется высоким уровнем риска. Учитывая, что за период 2018–

2023 гг. исследование мышьяка в воде р. Вирма проводилось лишь один раз, и при этом получены результаты ниже предела количественного определения методики, согласно п. 3.2.15 Руководства по оценке риска здоровью, можно исключить мышьяк из анализа, в противном случае при расчете дозы, исходя из половины предела количественного определения, коэффициент опасности составит 19,56947. Проблема оценки риска здоровью в связи с возможным содержанием мышьяка в питьевой воде в настоящий момент особенно актуальна [7], так как даже современные аналитические методы, применяемые в федеральных бюджетных учреждениях здравоохранения, не достигают значения 0,5 RfD для мышьяка в соответствии с п. 5.5.2.2 Руководства Р 2.1.10.3968-23.

Суммарный канцерогенный риск был определен как настораживающий, основной вклад в значение которого вносили хром и мышьяк. Как и в случае с неканцерогенным риском, из расчета суммарного канцерогенного риска возможно исключение мышьяка, а также хрома, так как его исследования проводились за изучаемый период лишь два раза, и в обоих случаях его концентрации были ниже предела количественного определения.

По итогам выполненного анализа результатов наблюдений за качеством воды в источнике водоснабжения, а также оценки риска здоровью следует рассмотреть возможность выполнения расширенных исследований по следующим показателям: бенз(а)пирен, кадмий, мышьяк, никель, ртуть, свинец, хром. Кроме того, следует рассмотреть вопрос об увеличении частоты отбора проб и чувствительности методов определения мышьяка и хрома (VI).

Выводы. В статье проанализированы результаты исследований качества воды р. Вирма – поверхностного источника водоснабжения с. Ловозеро Мурманской области. Выполнена оценка риска здоровью экспонируемого населения и выделены приоритетные показатели качества воды. Помимо санитарно-химических показателей, отмечаются превышения обобщенных и санитарно-микробиологических показателей, что свидетельствует о значительном содержании органических веществ в воде. Сведения, представленные в настоящем исследовании, могут быть использованы при формировании программ производственного контроля и социально-гигиенического мониторинга качества воды в источнике и перед поступлением в распределительную сеть населенного пункта, а также при разработке мероприятий по приведению качества питьевой воды в соответствие с установленными требованиями.

Список литературы

1. Даувальтер В.А., Кашулин. Н.А. Геоэкология озер Мурманской области: монография. В 3 ч. Ч. 2. Гидрохимия водоемов. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014. – 222 с.
2. Батмазова А.А., Ермошкевич Е.В., Гайдукова Е.В. Выявление закономерностей водного режима озерно-речной системы Ловозера // Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)»: труды конференции, Москва, 28 октября – 01 2024 года. – Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2025. – С. 126–133.
3. Кутейникова Д.М., Хлебосолова О.А. Особенности объектного мониторинга водных систем в районе медно-никелевого производства // Молодые – Наукам о Зем-

ле: Материалы XI Международной научной конференции молодых ученых. В 5-ти томах, Москва, 03–04 апреля 2024 года. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, 2024. – С. 72–75.

4. Особенности изменения химического состава питьевой воды в результате водоподготовки (с. Ловозеро, Кольский полуостров) / С.И. Мазухина, С.В. Дрогобужская, С.С. Сандимиров, В.А. Маслобоев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334, № 10. – С. 243–252. DOI: 10.18799/24131830/2023/10/4147

5. Выучейская Д.С., Башкетова Н.С., Бадаева Е.А. Развитие системы охраны источников питьевого водоснабжения в России // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2018. – Т. 13 (2). – С. 775–785.

6. Оценка динамики гигиенических показателей питьевой воды централизованных систем водоснабжения в процессе транспортировки / В.Д. Шмелева, Л.В. Кислицына, О.Б. Романова, М.В. Аленицкая, Е.С. Пугачева // Экология человека. – 2024. – Т. 31, № 5. – С. 380–392. DOI: 10.17816/humeco631755

7. Исаев Д.С., Мозжухина Н.А., Степанян А.А. Обоснование временных отступлений качества питьевой воды с учетом новых научных данных для оценки риска здоровью населения // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2024. – Т. 32, № 5. – С. 23–32. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-5-23-32

Экспериментальная оценка эмиссии субмикронных частиц на модели Урского отвала горнопромышленных отходов

И.И. Крутянский

ФБУН «Новосибирский научно-исследовательский институт гигиены»,
г. Новосибирск, Россия

Произведен анализ литературных источников по физико-химическим и токсическим свойствам субмикронных аэрозольных частиц, вызывающих загрязнение воздуха и риск для здоровья. Использовано натурное моделирование атмосферных выбросов частиц и ртути из отходов переработки руд, отобранных летом. Путем нагрева определены вероятностные объемы эмиссии и их взаимосвязи. Результаты показывают высокую вероятность накопления опасных аэрозолей в приземном слое воздуха над отвалом, что представляет угрозу для населения.

Ключевые слова: аэрозольные частицы, субмикронный диапазон, ртуть, загрязнение воздуха, экология, моделирование.

Загрязнение атмосферного воздуха в современных постиндустриальных условиях горнодобывающих регионов характеризуется значительными площадями техногенно измененных территорий и объемами накопленных отходов, превышающими

100 миллиардов тонн [1, 2]. В наиболее опасные категории горных отходов входят хвосты добычи и обогащения сульфидных руд цветных и благородных металлов. В отсутствие эффективных технологий до извлечения такие отходы складываются на отвалах и хвостохранилищах [3]. После завершения разработки месторождений подобные объекты продолжают оставаться источниками загрязнения атмосферы многокомпонентными газо-аэрозольными смесями. Основная роль в образовании миграционных потоков вредных веществ от хвостохранилищ и отвалов, представляющих собой риск для здоровья населения, переходит к природно-техногенным процессам, которые представляют собой совокупность ответных реакций окружающей среды на техногенное воздействие.

Характеристика негативных для здоровья эффектов наночастиц определяется их способностью проникать через клеточные мембраны и межклеточные пространства с последующим неограниченным распределением в различных тканях, органах и системах организма [4]. Исследование рисков, связанных с контактом человека и биологических объектов окружающей среды с наночастицами, представляет собой важную задачу медицины труда на сегодняшний день. Негативное воздействие наночастиц на здоровье и работоспособность населения поддерживается исследованиями Ю.И. Прокофьева и А.С. Быкова (2017) [5], а также Н.В. Зайцевой и соавторов [6]. Результаты исследований показывают, что наночастицы оказывают отрицательное влияние на здоровье и могут вызывать изменения в организме, в частности, изменения в иммунной системе [7–9], развитие онкологических заболеваний [10], поражение органов дыхания [11], заболевания сердечно-сосудистой системы и увеличение риска смертности от коронарной болезни сердца [12], а также повышают заболеваемость мочеполовой и пищеварительной систем, воздействуют на центральную нервную систему и вызывают патологии опорно-двигательного аппарата [13].

Согласно исследованию И.Н. Симоновой и соавторов (2013), взвешенные частицы в воздухе, возникающие в результате выбросов автотранспорта, приводят к увеличению смертности на 6 % среди различных групп населения и способствуют возрастанию случаев хронического бронхита и приступов астмы у взрослых и детей [11].

Частицы диаметров от 0,5 до 5 мкм могут проникать в средние и нижние дыхательные пути, где оседают, и обобщаются под термином «респираторная фракция аэрозоля» [14]. Наибольшую опасность для здоровья представляют частицы менее 0,5 мкм, так как они не оседают ни в верхних, ни в нижних дыхательных путях, а также в легких. В области порошковой металлургии субмикронными считаются сплавы с размерами зерна от 100 до 500 нанометров [14]. Этот термин также широко применяется к аэрозолям, потенциальная опасность которых зависит от размеров частиц.

Целью текущего исследования было изучение влияния температурного фактора на процессы атмосферной миграции газо-аэрозольных смесей с различными физико-химическими свойствами, основанное на исследовании натурной модели сульфидсодержащего отвала.

При проведении экспериментов определялись количественные характеристики эмиссии частиц образовавшегося субмикронного аэрозоля в различных диапазонах по их концентрациям в воздухе затравочной камеры, используя многофункциональный спектрометр аэрозольных частиц «САЧМ 4801» (ООО АНТ, Москва), который

позволяет в режиме спектрометра регистрировать диапазон размеров от 0,2 мкм до 10,0 мкм. Концентрации летучих соединений ртути, выделяющихся из отходов в воздух проведенного эксперимента, измерялись с применением универсального переносного ртутеметрического комплекса «УКР-1МЦ» (ООО «НПЭФ» «ЭкОН», Москва), работающего по методу атомно-абсорбционной спектроскопии без пламени в диапазоне 10–50000 нг/м³.

Материалы и методы. Объектом моделирования является Урский отвал, расположенный в поселке Урск Кемеровской области. Этот отвал представляет собой барит-пиритовую сыпучку, образованную в зоне окисления колчеданного Ново-Урского месторождения после извлечения золота методами цианирования. Урский отвал был сформирован в 30-х годах прошлого века. Климат региона континентальный, с холодными зимами и теплыми летами, что создает специфические условия для изучения процессов эмиссии аэрозолей.

Исследование проводилось в летний период с использованием натурной модели, созданной на основе отобранных проб сульфидсодержащих отходов, которые представляют собой уменьшенную копию реального отвала. Моделирование осуществлялось в герметичных затравочных камерах объемом 200 л. В каждую камеру были помещены плитки с образцами отходов весом по 1,0 кг, которые нагревались до температур $27,1 \pm 0,04$; $30 \pm 0,1$ и $50 \pm 0,3^\circ\text{C}$. Эти температуры имитируют различные уровни солнечной радиации в течение летнего периода. Для мониторинга изменения объемов эмиссии аэрозолей проводились замеры концентраций частиц в воздухе камер.

Технические характеристики нагревательных устройств были стандартизированы для обеспечения равномерного распределения температуры. В процессе исследования отбирались 99 проб воздуха для анализа эмиссии аэрозолей в размере от 0,2 мкм до 10,0 мкм.

В ходе планирования эксперимента было предположено, что изменение температурного режима будет значительно влиять на объем эмиссии аэрозолей, главным образом, за счет увеличения испарения летучих компонентов, содержащихся в сульфидсодержащих отходах. Такие предположения обоснованы предыдущими исследованиями, показывающими связь между температурой и интенсивностью выбросов.

Для анализа полученных данных использовались методы описательной статистики. Измерения концентраций аэрозольных частиц в воздухе камер проводились ежедневно в три серии замеров: до, в процессе и после нагрева образцов отходов, в разное время суток (в 9:00, 12:00 и 16:00 часов). Результаты представлены в виде графиков, показывающих зависимости изменения объемов эмиссии аэрозолей от температурного фактора. Объемное распределение частиц аэрозоля демонстрирует, что 97–98 % составляет субмикронные частицы размером 0,2–0,5 мкм, что подчеркивает их потенциальную угрозу для здоровья населения.

Результаты. Итоги двенадцатидневной апробации натурной модели Урского отвала, состоящего из барит-пиритовой сыпучки, подтвердили, что к прогнозируемым загрязнителям приземного слоя атмосферы над отвалом, при нагреве отходов до температуры $50 \pm 0,3^\circ\text{C}$, относятся аэрозольные частицы размером 0,2–0,5 мкм. Концентрация этих частиц в воздухе камеры увеличивается в четыре раза, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Динамика осреднённых концентраций в воздухе камер частиц субмикронного аэрозоля в трёх сериях замеров при различных температурах нагрева вещества отходов ($M \pm m$)

	Концентрации частиц в диапазоне размеров 0,2–0,5 мкм		
Серия замеров	Камера 1	Камера 2	Камера 3
Серия 1	156760,4 ± 6559,3 [^]	141081,4 ± 5769 [^]	221665,8 ± 10218,7
Серия 2	634023,1 ± 36506,7*	284852,4 ± 22062,5*	245951,6 ± 17257,4
Серия 3	302012,3 ± 19110,4 ^{^*}	176190,2 ± 9404,7 ^{^*}	147525,5 ± 6404,2 ^{^*}

Примечание: * – отличие данных от группы «Серия 1» достоверно, $p < 0,0001$;
[^] – отличие данных от группы «Серия 2», $p < 0,0001$.

После достижения пиковых значений концентрации при 48,5 °С наблюдается тенденция к уменьшению их уровня (рис. 1). Однако даже через четыре часа после завершения теплового воздействия, когда температура отходов снижена до $27,2 \pm 0,1$ °С, концентрация этих частиц статистически достоверно (в 1,9 раза) превышает уровень, зафиксированный до нагрева образца (табл. 1). Это позволяет предположить, что продолжительность жизни аэрозоля в атмосфере в летний период зависит от температуры нагрева источника выбросов.

Максимальные значения концентрации частиц в тестовой камере 2 достигаются при температурах 30–31 °С и составляют в два раза больше исходного уровня (табл. 1). Однако эти максимумы, в сравнении с теми, которые получают при нагреве отходов до 50 °С, фиксируются достоверно (в 3,8 раза) ниже. В колебаниях концентраций, которые достигают минимума при 33 °С, наблюдаются затухания (рис. 2, 1). При охлаждении образца отходов до 27,7 °С в третьей серии замеров концентрация аэрозольных частиц 0,2–0,5 мкм достоверно превышала уровень первой серии замеров в 1,3 раза ($p < 0,0001$).

Распределение концентраций аэрозоля с размерами частиц 0,2–0,5 мкм в камере 3 представлено в виде изменчивой кривой, минимум которой (93 692 ед/л) определяется при 24,5 °С, максимум составляет 326 393 ед/л при 27,5 °С (рис. 2, б). Изменения концентраций частиц аэрозоля в диапазоне температур от 24,5 до 27,5 °С не являются статистически значимыми и представляют собой свободные колебания.

Согласно результатам моделирования, что отражено в таблице 2, содержание паров ртути в воздухе камер зависит от температуры нагрева образцов отходов, а также от времени проведения замеров в меньшей степени. Средние концентрации паров ртути в воздухе при нагреве отходов до $50 \pm 0,3$ °С в камере 1 продемонстрировали определённую зависимость от температуры. К примеру, на рисунке 3 при 48,5 °С концентрация паров ртути увеличивается в 1,5 раза, а после охлаждения отходов до 27,2 °С средняя концентрация снижается до исходного уровня. Расчёты коэффициентов Спирмена подтвердили наличие взаимосвязи между концентрациями аэрозольных частиц 0,2–0,5 мкм и парами ртути ($rS = 0,7$, $p < 0,05$) при температуре 48,5 °С.

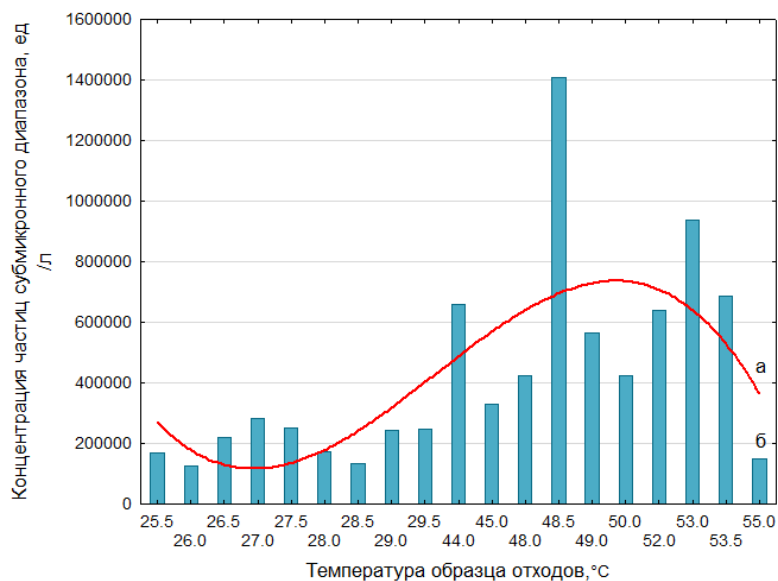


Рис. 1. а) тренд колебаний концентраций частиц субмикронного аэрозоля в камере 1; б) средние фактические показатели концентраций частиц субмикронного аэрозоля в период трех замеров в камере 1

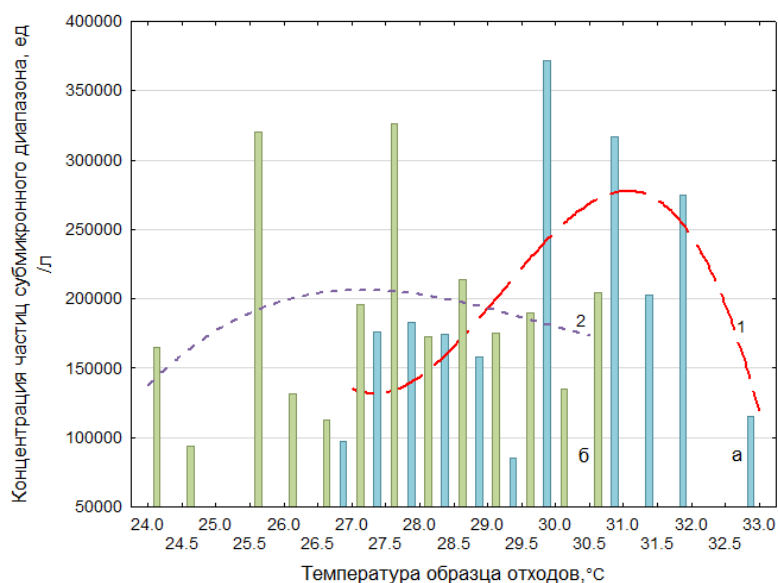


Рис. 2. 1. Тренд колебаний концентраций частиц субмикронного аэрозоля в камере 2; а – средние фактические показатели концентраций частиц субмикронного аэрозоля в период трех замеров в камере 2.

2. Тренд колебаний концентраций частиц субмикронного аэрозоля в камере 3; б – средние фактические показатели концентраций частиц субмикронного аэрозоля в период трех замеров в камере 3

Таблица 2

Динамика осредненных концентраций паров ртути в камерах
в течение дня при нагреве вещества отходов, ($M \pm m$)

Серия замеров	Концентрации паров ртути в воздухе камеры		
	Камера 1	Камера 2	Камера 3
Серия 1	$3,4 \pm 0,3$	$4 \pm 0,24$	$3,38 \pm 0,51$
Серия 2	$5,6 \pm 0,6^*$	$5,4 \pm 0,78$	$2,62 \pm 0,21$
Серия 3	$3,6 \pm 0,3^{\wedge}$	$3,7 \pm 0,26$	$3,1 \pm 0,19$

Примечания: * – отличие данных от группы «Серия 1» достоверно, $p < 0,02$;
^ – отличие данных от группы «Серия 2», $p < 0,05$.

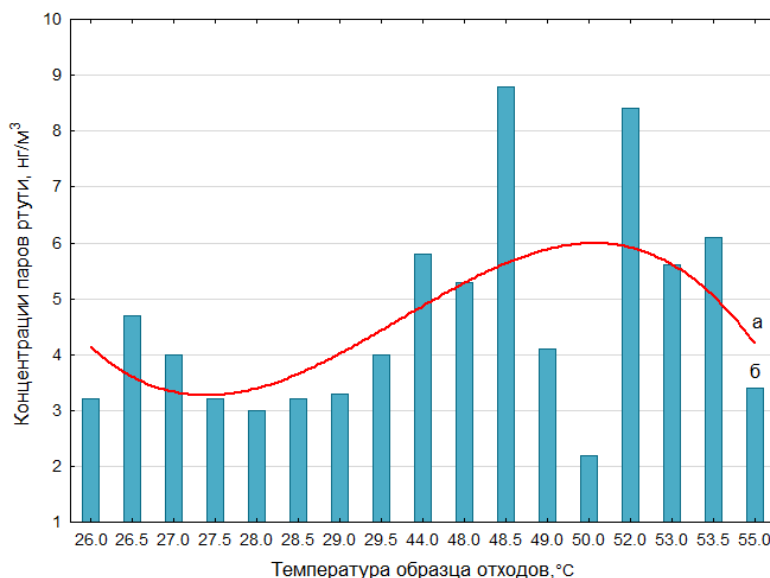


Рис. 3. а) тренд колебаний концентраций паров ртути в камере 1;
б) средние фактические показатели концентраций паров ртути в период
трех замеров в камере 1

Изменения концентраций паров ртути в воздухе камеры 2 при температуре 27–29 °C проявляются в виде затухающих колебаний (рис. 4, 1). Во время нагрева отходов в диапазоне температур от 29–33 °C наблюдаются вынужденные колебания, линия тренда которых представлена двухфазной кривой с минимумами (соответственно 2,9 нг/м³, 3,6 нг/м³ и 3,0 нг/м³) при температуре 29, 31,5 и 33 °C и максимумами (6,1 и 8,4 нг/м³) при температурах 30 и 32 °C. При этом изменения значений концентраций ртути при указанных температурных режимах не являются значимыми. Расчёты коэффициентов ранговой корреляции подтвердили взаимосвязь между концентрациями аэрозольных частиц 0,2–0,5 мкм и парами ртути ($r_s = 0,7$, $p < 0,05$).

При распределении концентраций паров ртути в воздухе камеры 3 без нагрева образца отходов (средняя температура образца $27,1 \pm 0,04$ °C) минимум составил

2,3 нг/м³ при 25,5 °С, а максимум – 4 нг/м³ при 29 °С (рис. 4, б). Изменения концентраций паров ртути не являются значимыми и представляют собой свободные колебания.

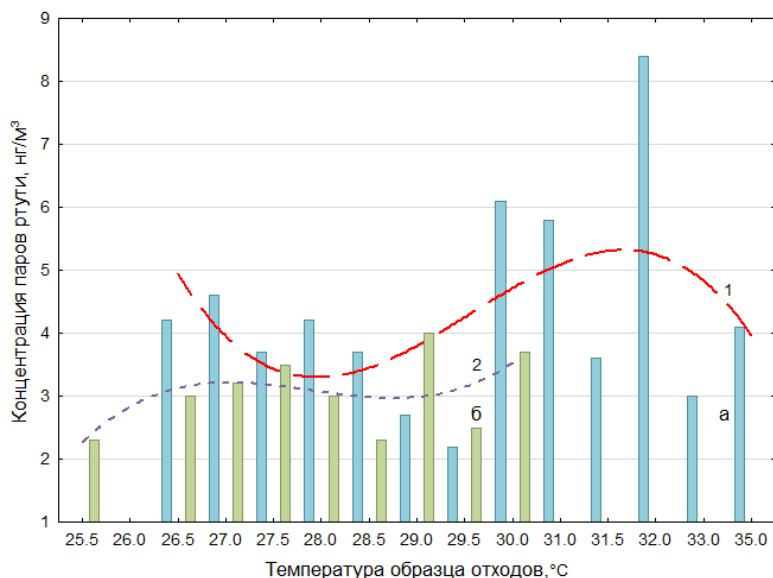


Рис. 4. 1. Тренд колебаний концентраций паров ртути в камере 2;
а – средние фактические показатели паров ртути субмикронного
аэрозоля в период трех замеров в камере 2.
2. Тренд колебаний концентраций паров ртути в камере 3;
б – средние фактические показатели концентраций паров ртути
в период трех замеров в камере 3

Результаты 12-дневной апробации натурной модели Урского отвала барит-пиритовой сыпучки подтвердили, что к прогнозным загрязнителям приземного слоя атмосферы над отвалом при нагреве объекта размещения отходов до температуры $50 \pm 0,3$ °С относятся частицы аэрозоля 0,2–0,5 мкм, концентрация которых в воздухе камеры возрастает в 4 раза.

Обсуждения. Интерпретация итогов натурального моделирования атмосферной миграции субмикронного аэрозоля из сульфидсодержащих отходов в летний период подтверждает рабочую гипотезу, согласно которой газо-аэрозольные смеси, обладающие одинаковым основным качеством, а именно нейротоксическими и иммунотоксическими эффектами, представляют значительную угрозу для здоровья населения. Кроме того, уровни экспозиции, исследованные в опытах на животных, вызывают дозозависимый гематотоксический эффект. В сочетании с признаками перенапряжения функциональных систем организма, ответственных за адаптацию, это создает основу формирования специфических патологических состояний нервной и иммунной системы, вызванных физико-химическими свойствами субмикронного аэрозоля. Следовательно, в условиях интенсивной солнечной радиации на объектах размещения сульфидсодержащих отходов уровни концентрации многокомпонентного субмикронного аэрозоля могут находиться в токсическом диапазоне, что при контакте

создает риск развития совокупности негативных нейротоксических и иммунотоксических эффектов. Ограничительным показателем вредности является резорбтивное воздействие, что обязательно должно учитываться при предстоящей разработке медико-гигиенических мероприятий в постиндустриальной фазе развития горнодобывающих регионов.

Выводы. В Новосибирском НИИ гигиены Роспотребнадзора, наряду с изучением фактического загрязнения атмосферного воздуха в зонах размещения отходов переработки сульфидных руд, был апробирован метод моделирования атмосферных выбросов газо-аэрозольных смесей в летний период.

С точки зрения гигиены, усиление интенсивности эмиссии аэрозолей при нагревании объекта размещения отходов представляет серьезную угрозу для здоровья населения, живущего в зонах загрязнения [15–18]. Многие токсикологические исследования подтверждают, что при выражении дозы веществ через массу некоторые ультрамелкие вдыхаемые нерастворимые частицы могут быть более токсичными, чем их более крупные аналоги аналогичного состава [19–22]. Тем не менее существует подтверждение, основанное на результатах токсикологических исследований, что главным показателем воздействия частиц на организм при их вдыхании является площадь поверхности частиц, а не их линейные размеры [16, 19, 20, 23]. Текущей информации недостаточно для того, чтобы определить, какие показатели частиц (число частиц определенного размера, площадь поверхности частиц и массовая концентрация) и, следовательно, какие методики их определения следует использовать при оценке воздействия наноаэрозолей на организм. В ближайшей перспективе будут предложены инструменты для оценки воздействий в тех случаях, где существует риск недостаточности методов, основанных на определении массы частиц, особенно в развивающихся областях нанотехнологий, где влияние искусственно созданных наночастиц может быть значительным. Это также создаст основу для более глубокого понимания связи между воздействием аэрозоля и его влиянием на здоровье с использованием различных показателей воздействия и для разработки стандартов по определению характеристик.

Исследование натурной модели демонстрирует, что концентрация аэрозоля достигает пика в 1 407 834 ед/л (фракция 0,2–0,5 мкм), а концентрация паров ртути составляет 8,8 нг/м³ при температуре образца отходов 48,5 °С, что подтверждает заметную зависимость атмосферной эмиссии аэрозолей от степени нагрева источника вещества.

На основании анализа полученных графиков можно заключить о свободных колебаниях концентраций аэрозоля без внешнего температурного влияния на образец отходов.

Зафиксированные концентрации в воздухе паров ртути при температурном воздействии на образцы отходов не имели статистически значимых различий с исходными уровнями, однако вынужденный характер их колебаний на графиках указывает на влияние температурного фактора.

Таким образом, целесообразно предсказать значительную опасность аэрозольного загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленных районов в условиях интенсивной солнечной радиации. При этом максимум распределения частиц по размерам находится в субмикронном диапазоне.

Список литературы

1. Gieré R., Sidenko N.V., Lazareva E.V. The role of secondary minerals in controlling the migration of arsenic and metals from high-sulfide wastes (Berikul gold mine, Siberia) // *Applied Geochemistry*. – 2003. – Vol. 18, № 9. – P. 1347–1359.
2. Geochemical and mineralogical zoning of high-sulfide mine-waste at the Berikul mine-site, Kemerovo region, Russia / N.V. Sidenko, E.V. Lazareva, S.B. Bortnikova, A.D. Kireev, B.L. Sherriff // *The Canadian Mineralogist*. – 2005. – Vol. 43, № 4. – P. 1141–1156.
3. Кларисс М. Гиблое место // *Российская газета*. – М., 2004. – 17 августа, № 3551. – С. 10.
4. Human and environmental impacts of nanoparticles: a scoping review of the current literature / E.A. Kumah, R.D. Fopa, S. Harati [et al.] // *BMC Public Health*. – 2023. – P. 1059. DOI: 10.1186/s12889-023-15958-4
5. Прокофьев Ю.И., Быков А.С. Возможное негативное влияние наночастиц на здоровье и работоспособность рабочих // *Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию со дня рождения выдающегося учёного академика АН СССР (РАН) Всеволода Сергеевича Авдеевского*. – Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2017. – С. 443–445.
6. Научное прогнозирование токсичности и оценка потенциальной опасности наночастиц оксида меди (II) для здоровья человека / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, М.С. Степанков, А.М. Игнатова // *Экология человека*. – 2021. – № 11. – С. 50–57.
7. Nanotoxicology and exposure in the occupational setting / T.S. Peixe, E. de Souza Nascimento, K.L. Schofield [et al.] // *Occupational Diseases and Environmental Medicine*. – 2015. – Vol. 3, № 03. – P. 35.
8. The effect of different workplace nanoparticles on the immune systems of employees / N. Kurjane, T. Zvagule, J. Reste [et al.] // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2017. – Vol. 19, № 9. – P. 1–12.
9. Adverse effects of engineered nanomaterials: exposure, toxicology, and impact on human health / B. Fadeel, A. Pietroiusti, A.A. Shvedova. – Academic Press, 2017.
10. The toxicity of silica nanoparticles to the immune system / L. Chen, J. Liu, Y. Zhang, G. Zhang, Y. Kang, A. Chen, X. Feng, L. Shao // *Nanomedicine (Lond)*. – 2018. – Vol. 13(15). – P. 1939–1962. DOI: 10.2217/nnm-2018-0076
11. Влияние наночастиц воздушной среды на состояние бронхолегочной системы / И.Н. Симонова, М.В. Антонюк, Т.И. Виткина // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. – 2013. – № 49. – С. 115–120.
12. Nanomaterial exposure, toxicity, and impact on human health / A. Pietroiusti, H. Stockmann-Juvala, F. Lucaroni, K. Savolainen // *Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol*. – 2018. – Vol. 10 (5). – P. e1513. DOI: 10.1002/wnan.1513
13. Schulte P., Leso V., Niang M., Iavicoli I. Biological monitoring of workers exposed to engineered nanomaterials // *Toxicol Lett*. – 2018. – Vol. 298. – P. 112–124. DOI: 10.1016/j.toxlet.2018.06.003
14. Исмаилов Ф.И. Атмосферный Аэрозоль. – LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 292 с.

15. Oberdorster G., Gelein R.M., Ferin J., Weiss B. Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? // *Inhal. Toxicol.* – 1995. – Vol. 7. – P. 111–124.
16. Oberdorster G. Toxicology of ultrafine particles: in vivo studies // *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* – 2000. – Series A 358, 1775. – P. 2719–2740.
17. Donaldson K., Li X.Y., MacNee W. Ultrafine (nanometer) particle mediated lung injury // *Journal of Aerosol Science.* – 1998. – Vol. 29 (5–6). – P. 553–560.
18. Ultrafine particles: mechanisms of lung injury / K. Donaldson, V. Stone, P.S. Gilmore, D.M. Brown, W. MacNee // *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* – 2000. – Series A 358. – P. 2741–2749.
19. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines / D.M. Brown, M.R. Wilson, W. MacNee, V. Stone, K. Donaldson // *Toxicology and Applied Pharmacology.* – 2001. – Vol. 175 (3). – P. 191–199.
20. Inhalation of poorly soluble particles. II. Influence of particle surface area on inflammation and clearance / C.L. Tran, D. Buchanan, R.T. Cullen, A. Searl, A.D. Jones, K. Donaldson // *Inhal. Toxicol.* – 2000. – Vol. 12 (12). – P. 1113–1126.
21. The role of free radicals in the toxic and inflammatory effects of four different ultrafine particle types / C.A.J. Dick, D.M. Brown, K. Donaldson, V. Stone // *Inhal. Toxicol.* – 2003. – Vol. 15 (1). – P. 39–52.
22. MacNee W., Donaldson K. Mechanism of lung injury caused by PM10 and ultrafine particles with special reference to COPD // *Eur. Resp. J.* – 2003. – Vol. 21. – P. 47S–51S.
23. Influence of particle surface area on the toxicity of insoluble manganese dioxide dusts / D. Lison, C. Lardot, F. Huaux, G. Zanetti, B. Fubini // *Arch. Toxicol.* – 1997. – Vol. 71 (12). – P. 725–729.

Анализ эпидемиологической ситуации по бешенству в Волгоградской области в 2018–2024 гг. и меры профилактики

И.С. Лызенко¹, Е.Р. Посохова²

¹ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии им. Пастера»,
г. Санкт-Петербург, Россия,

²Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Волгоградской области,
г. Волгоград, Россия

В статье представлен обзор эпидемиологической ситуации по бешенству на территории Волгоградской области в 2018–2024 гг. Описана динамика заболеваемости среди

людей и животных, а также уровень обращаемости населения после контактов с потенциально инфицированными животными. Определены территории, характеризующиеся наибольшим эпизоотическим риском, проанализированы особенности циркуляции вируса бешенства. Рассмотрены меры санитарно-эпидемиологического надзора и профилактики.

Ключевые слова: бешенство, зооантропонозные инфекции, эпидемиология.

Бешенство – острое зоонозное заболевание вирусной природы, возбудителями которого являются вирус бешенства и другие РНК-содержащие вирусы с отрицательной цепью, относящиеся к роду *Lyssavirus* семейства *Rhabdoviridae*. Инфекция поражает всех млекопитающих и характеризуется абсолютной летальностью при развитии клинических симптомов. Заболевание сохраняется на территориях, где контроль бешенства среди животных, прежде всего собак, недостаточен, а доступ населения к постконтактной профилактике ограничен [1, 2].

Комплексные программы эпидемиологического надзора, вакцинации и контроля популяции безнадзорных собак позволили в ряде стран ликвидировать классическое собачье бешенство. Однако в странах и регионах с низким охватом вакцинацией домашних и сельскохозяйственных животных бешенство остаётся значимой проблемой здравоохранения. В таких условиях собаки продолжают оставаться основным резервуаром и источником инфекции для человека, ответственным более чем за 95 % всех летальных исходов от гидрофобии [3].

Ситуация осложняется тем, что официальная статистика не всегда отражает реальную напряжённость эпидемиологической и эпизоотической обстановки, что связано с недостаточным выявлением и регистрацией случаев бешенства как среди животных, так и среди людей (ВОЗ, 2023). Заражение возможно не только при укусе, но и при попадании слюны больного животного на повреждённую кожу или слизистые оболочки, а также при алиментарном пути – употреблении мяса или трупов павших от бешенства животных [4–5].

Основным методом предотвращения заболевания остаётся постконтактная иммунизация [6]. При этом на территориях, эндемичных по бешенству, всё большее значение приобретает предконтактная профилактика, особенно для лиц из групп профессионального риска.

В Волгоградской области циркуляция вируса в природных очагах происходит с вовлечением как домашних, так и диких животных. Высокая плотность популяции безнадзорных собак, низкий уровень охвата вакцинацией домашних животных, несвоевременное обращение пострадавших за медицинской помощью, а также недостаточный охват лабораторным надзором создают предпосылки для сохранения эпидемиологической напряжённости.

Цель исследования – провести комплексный анализ эпидемиологической ситуации по бешенству в Волгоградской области за 2018–2024 гг, выявить ключевые эпидемиологические риски, определить наиболее неблагополучные территории и обосновать оптимальные направления профилактики и санитарно-эпидемиологического надзора.

Материалы и методы. Данные официальной статистической отчетности (формы федерального государственного статистического наблюдения № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях», статистические данные о заболевае-

мости животных в Волгоградской области – ф. 1-ВЕТ и 1-ВЕТ А); учетно-отчетная документация; информационно-аналитические данные, а также данные анкетирования. В работе использованы описательно-оценочные эпидемиологические, статистические методы исследований. Эпидемиологический анализ случаев заболевания бешенством среди населения, зарегистрированных на территории Волгоградской области в период с 2018 по 2024 гг.

Результаты и обсуждение. За период 2018–2024 гг. на территории Волгоградской области зарегистрировано 287 лабораторно подтвержденных зоонозных очагов бешенства среди животных. Среднегодовое количество очагов составило 52,9 случая при стандартном отклонении 52,7, что свидетельствует о высокой вариабельности эпизоотической ситуации в разные годы.

Анализ временного тренда показал умеренно выраженную отрицательную корреляцию между годом наблюдения и числом зарегистрированных очагов ($r = -0,48$), однако результат не является статистически значимым ($p = 0,27$). Это может быть связано с существенным влиянием внешних факторов. В частности, снижение числа выявленных очагов с 2019 по 2022 гг. следует связывать не столько с реальным спадом циркуляции вируса бешенства в природных очагах, сколько с ограничениями, вызванными пандемией COVID-19. В этот период отмечено снижение обращаемости населения по поводу укусов / ослюнений животными и, как следствие, уменьшение количества лабораторных исследований.

Наибольшую эпизоотическую активность продемонстрировали домашние и бродячие собаки (35,2 %), домашние кошки (31,4 %), крупный рогатый скот (14,3 %) и лисицы (12,2 %). На долю сельскохозяйственных животных в структуре всех случаев бешенства у животных пришлось 17,7 %, а на диких животных – 15,7 %. Заболевания животных регистрировалось в 34 из 35 муниципальных районов области, за исключением Киквидзенского района.

За рассматриваемый период на территории Волгоградской области зарегистрировано 4 лабораторно подтвержденных случая заболевания бешенством среди людей, все – с летальным исходом:

2020 г., Палласовский район – укус бродячего щенка;

2021 г., Котельниковский район – укус домашней собаки;

2021 г., Новоаннинский район – укус домашней кошки;

2024 г., Михайловский район – укус дикой лисы.

Все случаи заражения произошли в сельской местности. Заболевшие не обращались за медицинской помощью и не получали постконтактную профилактику, несмотря на наличие контакта с потенциально зараженными животными, что подчеркивает недостаточный уровень информированности и настороженности среди населения.

Показатель обращаемости за медицинской помощью после укусов и ослюнений животными остаётся стабильно высоким. В 2024 г. зафиксировано 11 310 обращений (показатель – 460,9 на 100 тыс. населения), что превышает средний многолетний уровень (363,9) на 25,5 % и почти в 1,88 раза превышает общероссийский показатель (245,3 на 100 тыс.). Наиболее напряжённая эпидемиологическая ситуация наблюдается в г. Волгограде, Алексеевском, Ленинском, Чернышковском, Клетском, Среднеахтубинском и ряде других районов.

Таким образом, сохраняется высокий эпидемиологический риск в связи с широким распространением вируса среди животных, низким охватом вакцинацией домашних и безнадзорных животных, а также несвоевременным обращением населения за медицинской помощью.

Заключение.

1. За период 2018–2024 гг. в Волгоградской области зарегистрировано 287 лабораторно подтверждённых очагов бешенства среди животных. Среднегодовой показатель составил 52,9 случая при высокой вариабельности (95 % доверительный интервал: 4,1–101,6), что указывает на нестабильную эпизоотическую обстановку и цикличность процессов.

2. Наибольший вклад в формирование эпизоотического неблагополучия внесли домашние и безнадзорные собаки (35,2 %), кошки (31,4 %) и крупный рогатый скот (14,3 %). Среди диких животных основным резервуаром вируса остаётся лисица (12,2 %).

3. Заболевание бешенством животных охватывает 97 % муниципальных районов области, за исключением Киквидзенского района, что указывает на широкую природную и антропоургическую распространённость вируса на территории региона.

4. За указанный период зарегистрировано 4 случая заболевания бешенством среди населения, все – с летальным исходом. Заболевшие не получали постконтактную профилактику. Это указывает на критические пробелы в информировании населения о данном заболевании, особенно в сельской местности.

5. Показатель обращаемости за медицинской помощью после контактов с животными остаётся стабильно высоким – 460,9 на 100 тыс. населения в 2024 г., что на 25,5 % превышает среднемноголетний уровень и в 1,88 раза выше среднероссийского. Это отражает не только активную циркуляцию вируса, но и определённый уровень настороженности у населения и медицинских работников.

6. Временное снижение числа очагов в 2019 и 2022 гг., по всей вероятности, связано не с объективным снижением активности вируса, а с ограничениями, вызванными пандемией COVID-19, в частности, снижением охвата ветеринарным надзором и лабораторной диагностикой.

7. Для оптимизации профилактических мероприятий необходим комплексный подход, включающий:

- усиление межведомственного взаимодействия между санитарно-эпидемиологическими и ветеринарными структурными органами;
- расширение охвата вакцинацией домашних и сельскохозяйственных животных;
- регулярное обновление и контроль запаса антирабических препаратов;
- систематическое просвещение населения, особенно в сельской местности и среди групп риска;
- усиление эпидемиологического и эпизоотического мониторинга, включая контроль за качеством регистрации и обследования очагов.

Бешенство остаётся актуальной проблемой для общественного здоровья региона, профилактика данного заболевания требует особого внимания и межведомственного взаимодействия.

Список литературы

1. William H. Wunner., Karl-Klaus Conzelmann. Chapter 2 – Rabies virus // Rabies (Fourth Edition). – 2020. – P. 43–81. DOI: 10.1016/B978-0-12-818705-0.00002-9
2. Сидоров Г.Н., Полешук Е.М., Сидорова Д.Г. Источники заражения людей бешенством в России за последние 5 веков // Здоровье населения и среда обитания. – 2016. – № 11. – С. 22–26.
3. Role of Oral Rabies Vaccines in the Elimination of Dog-Mediated Human Rabies Deaths / R.M. Wallace, F. Cliquet, C. Fehlner-Gardiner [et al.] // Emerg Infect Dis. – 2020. – Vol. 26 (12). – P. 1–9. DOI: 10.3201/eid2612.201266
4. Bourhy H., de Melo G.D., Tarantola A. Nouveaux aspects de la lutte contre la rage [New aspects of rabies control] // Bull Acad Natl Med. – 2020. – Vol. 204 (9). – P. 1000–1009. DOI: 10.1016/j.banm.2020.09.036
5. Гаврилов А.В. Бешенство: учебное пособие / А.В. Гаврилов, А.В. Зотова. – Благовещенск, 2020. – 38 с.
6. Lodha L., Manoor Ananda A., Mani R.S. Rabies control in high-burden countries: role of universal pre-exposure immunization // Lancet Reg Health Southeast Asia. – 2023. – Vol. 19. – P. 100258. DOI: 10.1016/j.lansea.2023.100258

Диагностика и мониторинг ВИЧ-инфекции в Рязанской области

А.С. Насонова, Е.П. Котелевец

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова»,
г. Рязань, Россия

В статье представлены современные методы диагностики и мониторинга ВИЧ-инфекции в Рязанской области, включая молекулярно-генетические технологии, автоматизированные базы данных и геоинформационные системы. Внедрение современных информационных технологий позволяет своевременно выявлять случаи инфицирования, оценивать распространение заболевания и повышать эффективность профилактических мер. Интеграция инновационных методов диагностики и мониторинга для контроля и снижения заболеваемости ВИЧ обеспечивает управление эпидемиологической ситуацией.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция, мониторинг, информационные технологии, ГИС, молекулярная диагностика, профилактика.

ВИЧ-инфекция представляет собой серьезную проблему глобального масштаба, характеризующуюся широким распространением и длительным скрытым периодом течения болезни. Инфицированные люди являются источником передачи вируса независимо от стадии заболевания, включая инкубационную. Пути

передачи выступают половой контакт, использование зараженных инструментов (например, шприцев, игл для татуировок, маникюрных принадлежностей), гемотрансфузии и трансплантации органов от ВИЧ-позитивных доноров, а также вертикальное распространение от матери к ребенку во время беременности, родов либо кормления грудью [1].

Современная ситуация требует постоянного совершенствования системы санитарного и эпидемиологического надзора ввиду текущей пандемии ВИЧ-инфекции.

Цель исследования – оценка существующих методов диагностики и мониторинга распространения ВИЧ-инфекции в Рязанской области.

Материалы и методы. Изучены официальные статистические данные, характеризующие население Рязанской области, состоящее на учете в качестве носителей ВИЧ и прошедшее профилактическое медицинское обследование¹. Исследование базировалось на данных, полученных за период начиная с 1991 г., а также материалах текущих наблюдений за состоянием эпидобстановки в 2025 г. Проведен анализ литературных источников по отечественным и зарубежным библиографическим базам данных.

Результаты. В Рязанской области за период с 1991 г. было зафиксировано 6234 случая носительства ВИЧ, что соответствует значению 576,0 на каждые 100 тысяч жителей региона, а показатель смертности составил 39,9 %. Важность регулярного социально-гигиенического мониторинга обусловлена необходимостью оперативного выявления динамики эпидемической обстановки, оценки эффективности принимаемых профилактических мер и совершенствования стратегий противодействия [2].

Диагностика ВИЧ-инфекции основывается исключительно на лабораторных исследованиях крови, поскольку симптомы болезни зачастую неотличимы от симптомов иных заболеваний или осложнений, связанных с иммунодефицитом.

Подтверждение наличия ВИЧ включает два ключевых этапа:

1. Установление факта инфицирования путем обнаружения специфических антигенов и нуклеиновых кислот вируса.

2. Определение степени тяжести инфекции (оценка уровня CD4+ клеток и концентрации РНК ВИЧ).

Лабораторные методики включают экспресс-анализ методом иммунохроматографии (ИХА), позволяющим выявить антитела к вирусу спустя три недели после вероятного контакта, иммуноферментный анализ (ИФА), определяющий наличие антител к ВИЧ с высокой степенью точности после окончания инкубационного периода, и подтверждающее тестирование методом иммунного блоттинга. Наиболее современным методом считается полимеразная цепная реакция (ПЦР), применяемая для детекции вирусной нагрузки, исследования крови доноров и ранней диагностики ВИЧ у новорожденных [3].

По итогам 2024–2025 гг. наблюдается устойчивый рост числа впервые диагностированных случаев ВИЧ-инфекции в Рязанской области, преимущественно среди возрастных категорий от 40 до 49 лет и старше. Первый квартал 2025 г. зафиксировал выявление 56 новых пациентов, что превышает аналогичные показатели предыду-

¹ Статистика заболеваемости ВИЧ-инфекцией по России и Рязанской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://rspid.medgis.ru/stat> (дата обращения: 04.08.2025).

шего года на 27,3 %. Максимальные значения зарегистрированы в районах Пронского, Скопинского, Захаровского и Михайловского, где частота выявления значительно превосходит средний областной показатель. Анализ показывает недостаточный охват профилактическим обследованием на ВИЧ отдельных территориальных подразделений медицинской службы, таких как учреждения ГБУ РО «Сасовская ЦРБ», «Скопинская ЦРБ», «Милославская РБ», «Рязанская РБ», «Ряжская РБ», «Рыбновская РБ», «Шиловская ЦРБ», Городская клиническая больница № 11, а также отделения Областной клинической больницы имени Н.А. Семашко и городских поликлиник № 2 и № 14.

По состоянию на конец марта 2025 г. на диспансерном учете состоят 3325 человек, из которых 69 были поставлены на учет впервые, включая 12 мигрантов из других регионов и 11 бывших заключенных. Назначено лечение 85 пациентам, а общее количество находящихся на антиретровирусной терапии составило 2972 человека (89,4 %). Количество отказавшихся от лечения возросло до 77 человек, основная причина прекращения лечения – смерть, зафиксированная у 32 пациентов (против 34 в предыдущем году). Показатель обследования на ВИЧ вырос до 8,7 % при установленном нормативе 8,5 %; обследовано свыше 94 718 человек. Наблюдалось увеличение числа рожденных от ВИЧ-инфицированных матерей детей с 10 до 15 за указанный период, все дети проходят необходимую профилактику. Всего на диспансерном учете находится 35 несовершеннолетних (до 17 лет), каждый ребенок получает соответствующее лечение [2].

Заключение. Использование новейших диагностических подходов, цифровых технологий и аналитических платформ позволяет эффективно контролировать ситуацию с распространением ВИЧ-инфекции. Несмотря на достижения, сохраняется необходимость дальнейшего совершенствования инструментария диагностики и интеграции современных научных достижений в практику ведения больных с целью минимизации негативных последствий пандемии.

Список литературы

1. Сенькина Е.Л., Демченко М.А. Эпидемическая ситуация по ВИЧ-инфекции в Рязанской области за 2011–2020 и влияние пандемии COVID-19 на показатели заболеваемости ВИЧ-инфекцией // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2022. – № 3. – С. 26–30.
2. О диагностике ВИЧ-инфекции и профилактике [Электронный ресурс] // Роспотребнадзор. – 2025. – URL: <https://zpp.rosпотребнадзор.ru/news/regional/541541> (дата обращения: 01.08.2025).
3. Статистика заболеваемости ВИЧ-инфекцией по России и Рязанской области. ВИЧ-инфекция в I квартале 2025 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://med-disp-okkvd-ryazan-r62.gosweb.gosuslugi.ru/informatsiya-dlya-spetsialistov/statistika-vich/> (дата обращения: 01.08.2025).

Клещевой вирусный энцефалит в Байкальском регионе: современная ситуация и эпидемиологический риск в разрезе административно-территориальных единиц

М.И. Толмачёва

ФКУЗ «Иркутский научно-исследовательский противочумный институт»,
г. Иркутск, Россия

Байкальский регион, включающий Республику Бурятия, Забайкальский край и Иркутскую область, расположен на очаговых по клещевому вирусному энцефалиту (КВЭ) территориях. Проведен ретроспективный эпидемиологический анализ ситуации за 2009–2024 гг. Дифференциация административно-территориальных единиц (АТЕ) Байкальского региона (Республика Бурятия – 22 АТЕ, Забайкальский край – 32 АТЕ, Иркутская область – 42 АТЕ) по группам эпидемиологического риска выполнена путем расчета 95%-ного доверительного интервала для среднесного показателя (СМП) инцидентности КВЭ за 2015–2024 гг.

Ключевые слова: клещевой вирусный энцефалит, эпидемиология, заболеваемость, эпидемиологический риск, дифференциация территорий.

Среди инфекций, передающихся иксодовыми клещами, по причине тяжести клинических форм и широкого нозоареала одной из наиболее опасных и распространённых является клещевой вирусный энцефалит (КВЭ). КВЭ – это природно-очаговая острая вирусная инфекция преимущественно с трансмиссивным механизмом передачи возбудителя. Проявляется лихорадкой, интоксикацией, полиморфизмом клиники с поражением в основном различных отделов центральной нервной системы [1]. Согласно данным Роспотребнадзора (письмо Роспотребнадзора от 30.01.2025 № 02/1616-2025-27), в 2024 г. эндемичными территориями по КВЭ признаны 49 из 89 субъектов Российской Федерации (РФ). Наиболее высокий эпидемиологический риск КВЭ в настоящее время наблюдается на территориях Среднего и Южного Урала, Западной и Восточной Сибири, включающей Байкальский регион [2].

Байкальский регион – географически сложная территория, центральным звеном которой является особое природное образование – о. Байкал. Территория региона располагается в центре Азии, связывая ее северную и центральную части. Байкальский регион включает три субъекта с уникальными экосистемами и природными особенностями: Республику Бурятия, Иркутскую область и Забайкальский край [3]. До 2019 г. все три субъекта входили в Сибирский федеральный округ, который на протяжении многих лет характеризуется самой высокой заболеваемостью КВЭ в стране [2]. С 2019 г. Забайкальский край и Республика Бурятия включены в состав Дальневосточного федерального округа, что привело к резкому подъему заболеваемости КВЭ в этом ФО. Отметим, что эндемичными по КВЭ в Республике Бурятия являются все 22 административно-территориальных единиц (АТЕ), в Забайкальском крае – 24 из 32, в Иркутской области – 36 из 42 АТЕ, то есть 85,4 % районов, входящих в состав Байкальского региона.

Цель исследования – проанализировать современную эпидемиологическую ситуацию по КВЭ в Байкальском регионе за 2009–2024 гг., провести дифференциацию АТЕ региона по уровню эпидемиологического риска для повышения адресности профилактических (противоэпидемических) мероприятий.

Материалы и методы. Ретроспективный эпидемиологический анализ проявлений КВЭ основан на данных управлений Роспотребнадзора по трем субъектам Байкальского региона, Референс-центра Иркутского научно-исследовательского противочумного института по мониторингу за клещевым вирусным энцефалитом, государственной статистической отчетной форме № 2 «Сведения об инфекционных и паразитарных заболеваниях» за 2009–2024 гг.

Статистическая обработка полученных результатов основана на применении стандартных методов вариационной статистики (расчеты средней арифметической, ошибки средней, доверительного интервала, выявлению выпадающих значений, построение уравнений линий регрессии) [4, 5] с использованием программы MS Excel.

Дифференциация АТЕ субъектов региона по группам эпидемиологического риска КВЭ за период 2015–2024 гг. выполнена в три этапа [6]: 1) разделение АТЕ на группы неэндемичных и эндемичных; 2) выделение среди эндемичных АТЕ трех групп с разным уровнем эпидемиологического риска путем расчета 95%-ного доверительного интервала (ДИ) для СМП_{2015–2024} заболеваемости; 3) проведение внутригрупповой оценки наличия статистически выпадающих значений.

Для пространственного анализа групп эпидемиологического риска по КВЭ проведено картографирование с использованием ГИС-технологий (программа QGIS 3.42.3). На картах с помощью внутренних инструментов программы QGIS 3.42.3 (географическая система координат GSC WGS 84 EPSG:3857) обозначены АТЕ трех субъектов Байкальского региона с различным уровнем эпидемиологического риска КВЭ.

Результаты и обсуждение. Число пострадавших от присасывания клещей в Байкальском регионе за период 2009–2024 гг. составило 341535 человек (СМП_{2009–2024} 487,6 ‰) с варьированием по годам от 15045 (345,6 ‰) в 2021 г. до 26097 (584,8 ‰) в 2018 г.

Заболеваемость КВЭ на территории Байкальского региона в 2009–2021 гг. имела статистически значимый ($p < 0,01$) тренд к снижению. Характерный для большинства субъектов РФ резкий подъем инцидентности КВЭ в 2022 г. нивелировал эту тенденцию (рис. 1) [7]. Всего за 2009–2024 гг. в регионе выявлено 2813 случаев КВЭ, ежегодно регистрировали от 41 до 240 больных.

СМП_{2009–2024} заболеваемости КВЭ составил $4,0 \pm 0,3$ ‰, что в 2,7 раза превышает среднероссийский показатель ($1,5$ ‰). Максимальная инцидентность зарегистрирована в 2012 и 2022 гг. ($5,3$ ‰) и превысила СМП_{2009–2024} по региону в 1,3 раза; минимальная – в 2021 г. ($0,9$ ‰) – в 4,4 раза ниже СМП_{2009–2024} (рис. 1).

Следует отметить, что в начальный период пандемии COVID-19 (2019–2021 гг.) ограничительные мероприятия, вероятно, привели к снижению контактов населения с природными очагами, соответственно, спаду числа обращений в медицинские организации по поводу присасывания клещей и заболеваемости КВЭ. Однако уже с 2022 г. число пострадавших от присасывания клещей вновь выросло, а инцидентность КВЭ вернулась на уровень СМП_{2009–2024} и даже превысила его, что, по некоторым данным, могло являться следствием проявления постковидного синдрома [8].

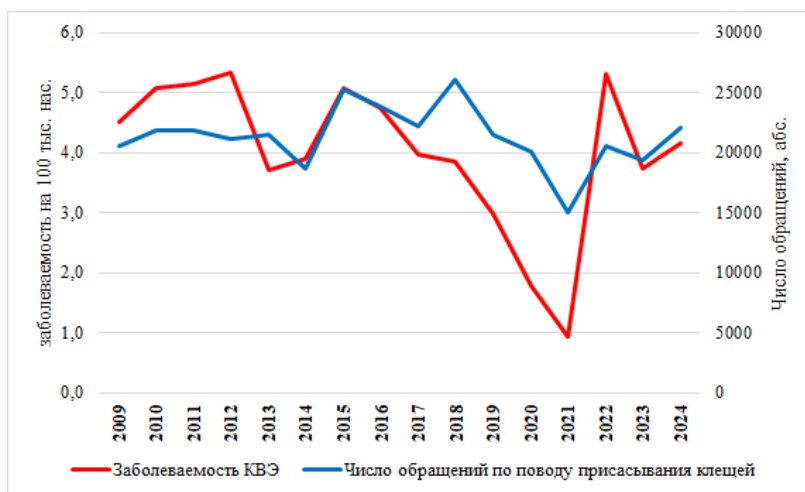


Рис. 1. Характер изменения инцидентности КВЭ (красная линия, ‰ по левой оси ординат) в сравнении с числом обращений населения по поводу присасываний клещей (синяя линия, абс. значения по правой оси ординат) на территории Байкальского региона за 2009–2024 гг.

Характер изменения инцидентности КВЭ во всех субъектах Байкальского региона за 2009–2024 гг. различен (рис. 2). Так, в Республике Бурятия заболеваемость статистически значимо ($p < 0,01$) снизилась в 2 раза (СМП_{2009–2024} $4,3 \pm 0,5$ ‰, среднегодовой темп снижения – 4,6 %). В Иркутской области наблюдается стабильность заболеваемости КВЭ (СМП_{2009–2024} $3,9 \pm 0,3$ ‰, среднегодовой темп снижения – 0,8 %). И только на территории Забайкальского края за анализируемый период наблюдается незначимый рост заболеваемости в 1,6 раза (СМП_{2009–2024} $3,7 \pm 0,4$ ‰, среднегодовой темп роста – 3,2%).

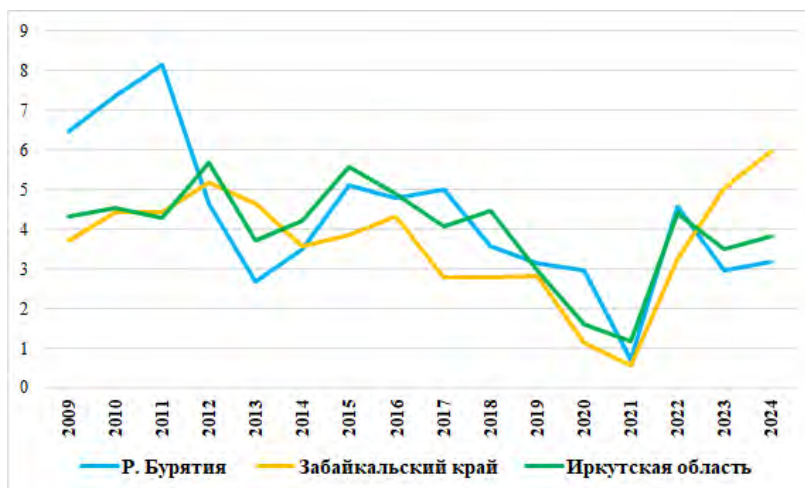


Рис. 2. Многолетняя динамика заболеваемости КВЭ в Республике Бурятия, Забайкальском крае и Иркутской области за 2009–2024 гг. (на 100 тыс. нас.)

Как ранее было показано, Республика Бурятия и Иркутская область входят в группу субъектов РФ с высоким эпидемиологическим риском по КВЭ, а Забайкальский край – со средним [2].

Заболеваемость КВЭ в АТЕ Байкальского региона, как и в других субъектах страны, характеризуется значительными территориальными различиями. Риск-ориентированный подход к профилактике КВЭ на уровне АТЕ требует выделения районов с разным уровнем эпидемиологического риска.

Дифференциация 96 АТЕ субъектов Байкальского региона (по данным 2015–2024 гг.) по СМП заболеваемости КВЭ позволила выделить шесть групп (Г) территорий: неэндемичные районы (Г0), с низкой (Г1, менее 3,7 ‰), средней (Г2, от 3,7 ‰ до 6,0 ‰), высокой (Г3, более 6,0 ‰), с очень высокой инцидентностью (Г4, более 27,0 ‰) и три административных центра субъектов (Г5) (таблица).

Характеристика АТЕ субъектов Байкальского региона по числу случаев и показателю инцидентности КВЭ

Название АТЕ	Число заболевших 2015–2024 гг.	СМП _{2015–2024} , ‰	Группа эпиде- миологического риска	№ на карте
1	2	3	4	5
Республика Бурятия				
г. Улан-Удэ	83	1,79	5	J
Баргузинский район	2	0,95	1	33
Баунтовский район	1	2,64	1	34
Бичурский район	12	6,17	3	35
Джидинский район	17	8,07	3	36
Еравнинский район	0	0,00	1	37
Заиграевский район	4	0,84	1	38
Закаменский район	65	27,15	4	39
Иволгинский район	13	2,87	1	40
Кабанский район	43	8,11	3	41
Кижингинский район	3	2,27	1	42
Курумканский район	4	4,11	2	43
Кяхтинский район	4	1,19	1	44
Муйский район	3	3,06	1	45
Мухоршибирский район	15	7,09	3	46
Окинский район	0	0,00	1	47
Прибайкальский район	12	4,63	2	48
Северо-Байкальский район	11	6,54	3	49
Селенгинский район	5	1,53	1	50
Тарбагатайский район	7	5,83	2	51
Тункинский район	26	12,41	3	52

1	2	3	4	5
Хоринский район	8	4,94	2	53
Забайкальский край				
г. Чита	98	2,86	5	N
Агинский район	4	1,19	1	54
Акшинский район	5	5,62	2	55
Александрово-Заводский район	3	3,76	2	56
Балейский район	15	8,55	3	57
Борзинский район	1	0,23	1	58
Газимуро-Заводский район	4	4,67	2	59
Дульдургинский район	1	0,71	1	60
Забайкальский район	0	0,47	0	61
Каларский район	0	0	0	63
Калганский район	1	1,4	1	64
Карымский район	9	2,6	1	65
Краснокаменский район	0	0	0	66
Красночикойский район	52	30,72	4	67
Кыринский район	0	0	0	68
Могойтуйский район	3	1,34	1	69
Могочинский район	9	3,63	1	70
Нерчинский район	7	2,58	1	71
Нерчинско-Заводский район	3	3,89	0	72
Оловянининский район	4	1,11	1	73
Ононский район	1	1,22	0	74
Петровск-Забайкальский район	39	11,89	3	75
Приаргунский район	2	1,16	0	76
Сретенский район	2	0,91	1	77
Тунгиро-Олёкминский район	0	0,00	0	78
Тунгокоченский район	2	1,90	1	79
Улётовский район	16	7,07	3	80
Хилокский район	8	2,98	1	81
Чернышевский район	7	2,27	1	82
Читинский район	24	3,57	1	83
Шелопугинский район	7	10,44	3	84
Шилкинский район	10	2,56	1	85
Иркутская область				
Ангарский ГО	67	2,79	1	A
г. Братск	24	1,97	1	B
г. Зима	4	1,3	1	C
г. Иркутск	174	2,79	5	D

1	2	3	4	5
г. Саянск	20	5,13	2	С*
г. Свирск	0	0	1	Е
г. Тулун	11	2,71	1	Г
г. Усолье-Сибирское	19	2,12	1	Г
г. Усть-Илимск	84	9,95	3	Н
г. Черемхово	23	3,91	2	И
Аларский район	4	1,82	1	1
Балаганский район	0	0	1	2
Баяндаевский район	13	11,71	3	3
Бодайбинский район	4	2,68	0	4
Боханский район	7	2,79	1	5
Братский район	7	1,35	1	6
Жигаловский район	4	4,73	2	7
Заларинский район	5	1,81	1	8
Зиминский район	2	1,08	1	9
Иркутский район	49	4,47	2	10
Казачинско-Ленский район	15	9,08	3	11
Катангский район	0	0	0	12
Качугский район	8	4,89	2	13
Киренский район	2	1,18	0	14
Куйтунский район	5	1,78	1	15
Мамско-Чуйский район	0	2,16	0	16
Нижеилимский район	8	1,96	0	17
Нижеудинский район	76	12,33	3	18
Нукутский район	1	0,64	1	19
Ольхонский район	9	9,25	3	20
Осинский район	38	18,17	3	21
Слюдянский район	31	8,32	3	22
Тайшетский район	26	3,47	1	23
Тулунский район	6	2,34	1	24
Усольский район	8	1,57	1	25
Усть-Илимский район	9	5,76	2	26
Усть-Кутский район	2	0,43	0	27
Усть-Удинский район	6	4,43	2	28
Черемховский район	16	6,86	3	29
Чунский район	21	6,39	3	30
Шелеховский район	28	4,23	2	31
Эхирит-Булагатский район	30	10,16	3	32

К неэндемичным районам отнесены 14 АТЕ, расположенные на территории Забайкальского края (восемь АТЕ) и Иркутской области (шесть АТЕ). В Г1 вошли 42 АТЕ, из которых 10 в Р. Бурятия, 15 в Забайкальском крае и 17 в Иркутской области. В Г2 – 15 АТЕ (четыре в Р. Бурятия, три в Забайкальском крае и восемь в Иркутской области). В Г3 – 20 АТЕ (шесть в Республике Бурятия, четыре в Забайкальском крае и 10 в Иркутской области).

Два АТЕ (Закаменский район из Республики Бурятия и Красночикоийский район из Забайкальского края) по уровню инцидентности КВЭ (27,2 и 30,7 ‰ соответственно) выделены в самостоятельный кластер (Г4) с очень высоким уровнем эпидемиологического риска.

Три административных центра субъектов Байкальского региона (гг. Улан-Удэ, Чита и Иркутск; СМП_{2015–2024} заболеваемости КВЭ составляет $1,8 \pm 0,4$; $2,9 \pm 0,6$; $2,8 \pm 0,5$ ‰ соответственно) включены в группу Г5 (3,1 ‰), причины чего указаны в ранее опубликованной работе [9].

Для визуальной оценки пространственного расположения групп различного эпидемиологического риска по КВЭ с помощью ГИС-технологий создана картограмма Байкальского региона (рис. 3).

Как видно на рис. 3, АТЕ кластера Г3-Г4 сосредоточены на юге, юго-западе, юго-востоке региона, а также на побережье озера Байкал.

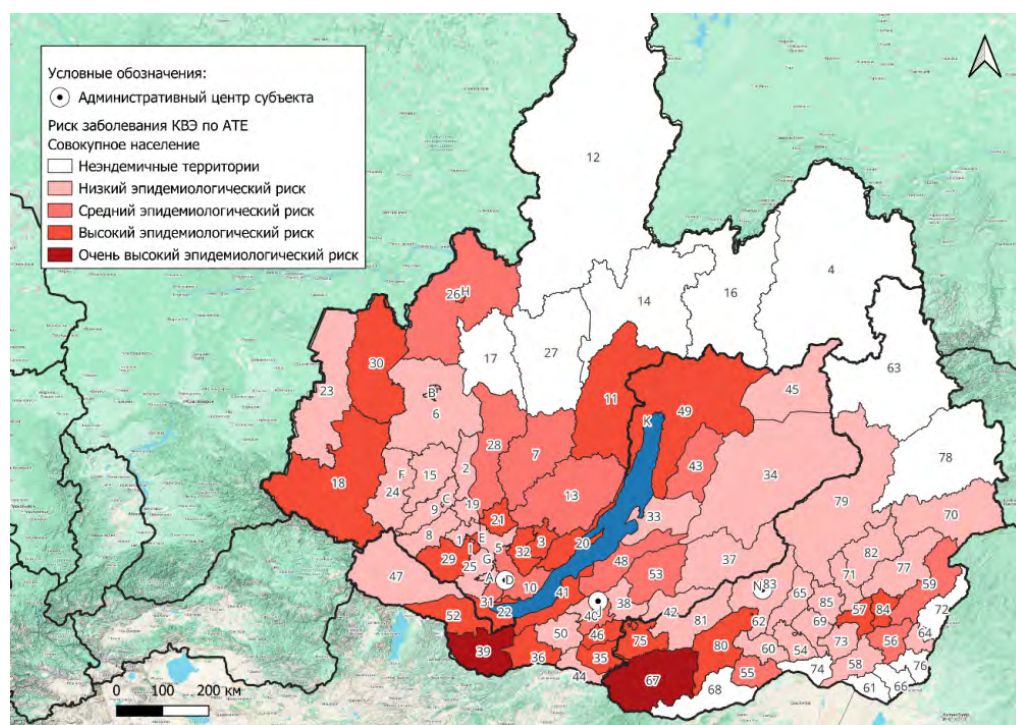


Рис. 3. Карта Байкальского региона с АТЕ, ранжированными по эпидемиологическому риску проявления КВЭ (цифровое и буквенное обозначения соответствуют названиям АТЕ в таблице)

Отметим, что одной из причин выраженной пространственной неоднородности проявления КВЭ в АТЕ Байкальского региона является разнообразие биоценотической структуры природных очагов КВЭ, связанное с многообразием ландшафтов (горные массивы, таежные ландшафты, степи и особенности побережья озера Байкал).

Для оценки последнего участки из групп высокого и очень высокого эпидемиологического риска (Г3-Г4) на сопредельных АТЕ субъектов региона объединены с учетом ландшафтно-географических особенностей. Так, группа АТЕ Забайкальского края и Республики Бурятия сосредоточена в зоне светлохвойных южносибирских лесов (Малаханский, Яблоновый хребет), АТЕ Республики Бурятия и Иркутской области – зоне светлохвойных южносибирских и южнотаёжных лесов (хребет Хамар-Дабан, Северо-байкальское плато, Баргузинский хребет), а также темнохвойных южносибирских лесов (Байкальский и Приморский хребты), АТЕ северо-запада Иркутской области – зоне светлохвойных среднетаёжных, хвойно-широколиственных западносибирских и темнохвойных южносибирских лесов (Приангарское плато и Ангарский кряж). Вышеперечисленные зоны особенно благоприятны для переносчика вируса КВЭ – клещей рода *Ixodes* (на территории региона резервуаром и основным переносчиком является таежный клещ – *Ixodes persulcatus*) и оказывают влияние на интенсивность эпидемического процесса КВЭ.

Закключение. Как и на большинстве эндемичных по КВЭ территорий страны, в Байкальском регионе до 2021 г. заболеваемость характеризовалась значимым трендом к снижению. В 2022 г. произошел всплеск инцидентности, а в 2023 г. показатель вновь вернулся на уровень СМП_{2009–2024}.

Дифференциация АТЕ Байкальского региона показала, что на Г3-Г4 в Р. Бурятия приходится 31,8 % АТЕ, Забайкальском крае – 20,8 %, Иркутской области – 27,8 %.

Распределение АТЕ на территории Байкальского региона в группы различного эпидемиологического риска по КВЭ позволит в дальнейшем осуществить более адресный подход к планированию и проведению эффективных и профилактических мероприятий.

Несомненно, особого внимания со стороны учреждений Роспотребнадзора и здравоохранения требуют АТЕ из группы Г3-Г4, а также АТЕ, располагающиеся на побережье озера Байкал, которые являются местами массового отдыха и туризма. В АТЕ данных групп необходимо проводить массовую вакцинацию против КВЭ (не менее 95 %, согласно нормативным документам) и экстренную серопротекцию по результатам экспресс-диагностики клещей, удаленных с пострадавших людей. Также важно уделить внимание мерам неспецифической профилактики, в том числе проведению своевременных акарицидных обработок с нужной кратностью, а также организации санитарно-гигиенического просвещения населения не только среди местных жителей, но и туристов и отдыхающих. Население должно быть информировано об опасности КВЭ (в том числе при посещении территорий соседних АТЕ), мерах и способах специфической и неспецифической профилактики болезни, о путях передачи возбудителя, основных его переносчиках и современных методах индивидуальной защиты от присасывания иксодовых клещей в эпидемиологически опасный по КВЭ сезон (противоклещевые костюмы, акарицидно-репеллентные препараты), соблюдения правил поведения в лесу в период активности переносчика.

Вместе с тем на территориях районов низкого и среднего эпидемиологического риска и / или мест, редко посещаемых людьми, следует проводить вакцинацию лицам, отнесенным к группам риска, а также экстренную серопротекцию. Объемы

акарицидных работ должны увеличиваться в зависимости от риска заражения людей и числа пострадавших от присасывания клещей по группам территорий: от Г0 до Г2. Для защиты от присасывания клещей следует ориентироваться на перечисленные меры индивидуальной защиты.

Дальнейшее развитие эпидемиологической ситуации по КВЭ на территории Байкальского региона в значительной степени будет определяться характером изменения площади лесного массива, уровнем антропогенного вмешательства в преобразование территорий, формированием и совершенствованием транспортной инфраструктуры и социальной сферы, особенно в области санаторно-курортного отдыха и туризма.

Список литературы

1. Злобин В. И. Клещевой энцефалит в XXI веке. – Москва: Наука, 2021. – 471 с.
2. Эпидемиологическая ситуация по клещевому вирусному энцефалиту в Российской Федерации за 2015–2024 гг. и краткосрочный прогноз заболеваемости на 2025 г. / Е.И. Андаев, А.Я. Никитин, М.И. Толмачёва, И.Д. Зарва, Е.А. Сидорова, А.Н. Бондарюк, Е.В. Яцменко, А.В. Севостьянова, К.В. Лопатовская, В.А. Бабаш, С.В. Балахонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2025. – № 1. – С. 6–17. DOI: 10.213.055/0370-1069-2025-1-6-17
4. Садыкова Э.Ц., Бильгаев А.В. Эколого-экономическое развитие Байкальского региона: особенности, анализ и перспективы: монография / ответственный редактор А. К. Тулохонов. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2022. – 176 с. DOI: 10.18101/978-5-9793-1807-3-2022-1-176
5. Терентьев П.В., Ростова Н.С. Практикум по биометрии: учебное пособие. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. – 152 с.
6. Кердяшов Н.Н. Вариационная статистика: учебное пособие. – Пенза: ПГАУ, 2018. – 131 с.
7. Алгоритм дифференциации территорий по риску заболевания клещевым вирусным энцефалитом (на примере муниципальных образований Забайкальского края): учеб-метод. Пособие / М.И. Толмачёва, А.Я. Никитин, А.О. Туранов, Ю.Н. Трушина. – Иркутск: ИНЦХТ, 2021. – 20 с.
8. Эпидемиологическая ситуация по клещевому вирусному энцефалиту в Российской Федерации в 2014–2023 гг. и краткосрочный прогноз заболеваемости на 2024 г. / А.Я. Никитин, Е.И. Андаев, М.И. Толмачёва, И.Д. Зарва, А.Н. Бондарюк, Е.В. Яцменко, В.А. Матвеева, Е.А. Сидорова, Р.В. Адельшин, В.Ю. Колесникова, С.В. Балахонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2024. – № 1. – С. 48–58. DOI: 10.21055/0370-1069-2024-1-48-58
9. Влияние COVID-19 на заболеваемость людей трансмиссивными инфекциями, передающимися иксодовыми клещами (на примере Красноярского края) / А.Я. Никитин, О.В. Сорокина, Е.И. Андаев, Н.Ю. Харлампыева, С.В. Балахонов // Проблемы особо опасных инфекций. – 2023. – № 1. – С. 120–125. DOI: 10.21055/0370-1069-2023-1-120-125
10. Динамика эпидемического процесса клещевого вирусного энцефалита на территории Иркутской области в 2001–2021 гг. / М.И. Толмачёва, А.Я. Никитин, Е.И. Андаев, И.Г. Чумаченко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2023. – № 3. – С. 123–131. DOI: 10.21055/0370-1069-2023-3-123-131

Опыт проведения оценки влияния воды водных объектов, используемых в рекреационных целях, на здоровье населения

**В.Н. Федоров, Ю.А. Новикова, Н.А. Склизкова,
И.О. Мясников**

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены
и общественного здоровья»,
г. Санкт-Петербург, Россия

Рост урбанизации и стресса среди населения обуславливает все возрастающие требования к организации полноценного и эффективного отдыха. Одной из национальных целей развития Российской Федерации является создание комфортных и безопасных условий проживания. В перечень обязательных функциональных зон, обеспечивающих благоприятную среду для жизнедеятельности человека, входят в том числе и водоемы, используемые в рекреационных целях. По обилию водоемов Санкт-Петербург занимает одну из лидирующих позиций среди городов России.

Выполнена оценка риска для здоровья населения от воздействия воды водных объектов, используемых в рекреационных целях. Полученные результаты показали отсутствие неприемлемого канцерогенного или неканцерогенного риска здоровью населения г. Санкт-Петербурга, но прогнозируется средний или высокий уровень эпидемиологической опасности.

Ключевые слова: вода водных объектов, оценка риска, зоны рекреации, здоровье населения, комфортная городская среда.

Рост урбанизации и стресса среди населения, особенно в крупных городах, обуславливает все возрастающие требования к организации полноценного и эффективного отдыха. Одной из национальных целей развития Российской Федерации является создание комфортных и безопасных условий проживания [1]. На основании научных исследований подходы по оценке уровня комфортности городских территорий постоянно совершенствуются [2–4]. В настоящее время предлагается оценивать комфортность через риски для здоровья населения в целом или его отдельных социальных (половозрастных, профессиональных и иных) групп [5]. В перечень обязательных функциональных зон, обеспечивающих благоприятную среду для жизнедеятельности человека, входят предназначенные для отдыха территории, в том числе и водоемы, используемые в рекреационных целях [6].

Высокая антропогенная нагрузка, естественные причины и бактериальное загрязнение водоемов, используемых в рекреационных целях, может оказывать негативное влияние на организм человека [7, 8].

Состояние факторов среды обитания оценивается в рамках социально-гигиенического мониторинга (СГМ), в рамках которого на системной основе собирается информация о качестве воды водоисточников, питьевой воды, атмосферного воздуха, почвы населенных мест. Качество воды водоемов, используемых в рекреационных целях, в рамках СГМ исследуется редко или по небольшому перечню показателей.

По обилию водоемов г. Санкт-Петербург занимает одну из лидирующих позиций среди городов России. Общая протяженность всех водотоков на территории города достигает 284 км и около 7 % от всей площади города [9]. Многие из них используются для различных видов рекреации (ландшафтные, для купания, для отдыха с использованием плавсредств и др.), но на территории города также расположены водные объекты с неконтролируемым и неорганизованным рекреационным использованием [9].

В связи с большим количеством водных объектов актуальность оценки риска здоровью населения, связанного с рекреационным водопользованием, в городе Санкт-Петербурге очень высока.

Цель исследования – выполнение оценки риска для здоровья населения от воздействия воды водных объектов, используемых в рекреационных целях.

Материалы и методы. В работе использованы результаты лабораторных исследований и испытаний качества воды используемых в рекреационных целях водоемов г. Санкт-Петербурга, проведенных в рамках СГМ в 2022–2024 гг. Выполнена статистическая обработка: рассчитаны средние значения, среднеквадратичные отклонения, среднемноголетние концентрации 95%-й вероятностной обеспеченности.

Оценка канцерогенного и неканцерогенного риска при воздействии химических веществ выполнялась в соответствии с Р 2.1.10.3968-23 [10] с учетом стандартных рекомендованных факторов экспозиции. В качестве приоритетного пути рассматривался пероральный путь при случайном заглатывании воды при купании. Перкутанный и ингаляционный пути поступления воды в организм человека в настоящей работе не рассматривались (как менее значимые с точки зрения величины экспозиции). Оценка микробного риска выполнялась в соответствии с МР 2.1.10.0031-11 [11].

Полученные результаты. Мониторинг качества воды водных объектов в г. Санкт-Петербурге, используемых в рекреационных целях, в 2024 г. в рамках СГМ проводился в 24 точках девяти водных объектов, за 2022–2024 гг. контролировалось 36 показателей: 17 химических, 6 микробиологических, 1 вирусологический, 2 паразитологических, 5 органолептических и 5 обобщенных.

В оценку риска от воздействия химического фактора были включены вещества, для которых установлены величины референтной дозы при пероральном поступлении (RfD) и (или) фактор канцерогенного потенциала (SfO) [10]:

– оценка неканцерогенного риска здоровью: железо (Fe, суммарно), кадмий (Cd, суммарно), марганец (Mn, суммарно), медь (Cu, суммарно), мышьяк (As, суммарно), никель (Ni, суммарно), нитраты (NO₃-), нитриты (NO₂-), ртуть (Hg, суммарно), хром (Cr, суммарно), цинк (Zn, суммарно), гидроксibenзол (фенол);

– оценка канцерогенного риска здоровью: кадмий (Cd, суммарно), мышьяк (As, суммарно), свинец (Pb, суммарно), хром (Cr, суммарно).

Перечень критических органов и систем при одностороннем воздействии приоритетных загрязнителей при поступлении с водой водных объектов представлен в таблице. Наибольшее воздействие будет оказано на кровь, нервную систему, желудочно-кишечный тракт и развитие организма.

Анализ результатов оценки канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии воды водных объектов г. Санкт-Петербурга, используемых в рекреационных целях, показал отсутствие превышения допустимого уровня канцерогенного

риска для каждого контролируемого показателя, а также суммарного канцерогенного риска во всех изученных водных объектах.

Анализ полученных значений неканцерогенного риска (коэффициентов опасности HQ) при воздействии отдельных загрязнителей и значений индексов опасности HI для отдельных органов и систем свидетельствует об отсутствии превышения допустимого уровня риска во всех изученных водных объектах, используемых в рекреационных целях. Прогнозируемые значения канцерогенного и неканцерогенного риска относятся к минимальному уровню риска.

Критические органы и системы организма, поражаемые приоритетными загрязнителями при поступлении с водой водных объектов

Критические органы и системы организма	Количество веществ с односторонним действием	Наименования веществ
Желудочно-кишечный тракт	2	железо (Fe, суммарно), медь (Cu, суммарно)
Иммунная система	1	цинк (Zn, суммарно)
Кожа	1	мышьяк (As, суммарно)
Кровь	3	нитраты (NO ₃ -), нитриты (NO ₂ -), цинк (Zn, суммарно)
Нервная система	3	марганец (Mn, суммарно), мышьяк (As, суммарно), ртуть (Hg, суммарно)
Органы дыхания	1	мышьяк (As, суммарно)
Почки	1	кадмий (Cd, суммарно)
Развитие	2	мышьяк (As, суммарно), ртуть (Hg, суммарно)
Сердечно-сосудистая система	1	мышьяк (As, суммарно)
Система крови	1	хром (Cr, суммарно)
Системное действие	1	гидроксibenзол (фенол)

Оценка микробного риска воды водных объектов, используемых в рекреационных целях, проводилась по следующим показателям:

- процент проб воды водоема в зонах рекреации с числом ОКБ, превышающим требования нормативных документов;
- среднее число ОКБ воды водоема в зонах рекреации;
- процент населения, использующего воду водоема для хозяйственно-бытовых нужд;
- процент населения, использующего воду водоема для рекреации.

Результат балльной оценки эпидемической опасности, связанной с рекреационным водопользованием, показал, что сумма баллов варьирует от 18 до 23.

Согласно оценочной шкале по сумме баллов значения микробного риска при воздействии воды рассматриваемых водных объектов г. Санкт-Петербурга, используемых в рекреационных целях, прогнозируются на среднем или высоком уровне. Следует обратить внимание, что существующая методика оценки риска эпидемической

опасности, связанной с рекреационным водопользованием, позволяет проводить только полуколичественную оценку, при которой отсутствует возможность оценить вероятность заражения или заболевания населения.

В работе были приняты во внимание основные неопределенности. Проведенный анализ позволяет констатировать, что, несмотря на ряд неопределенностей, полученные результаты можно считать наилучшими из достижимых.

Заключение. Немаловажную роль в организации качественного отдыха населения играет безопасность рекреационных объектов водопользования, особенно в крупных промышленных городах.

Полученные результаты показали отсутствие неприемлемого канцерогенного или неканцерогенного риска здоровью населения г. Санкт-Петербурга, но в то же время при воздействии воды всех исследуемых водных объектов, используемых в рекреационных целях, прогнозируется средний или высокий уровень эпидемиологической опасности.

Список литературы

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 [Электронный ресурс]. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/73986> (дата обращения: 08.08.2025).
2. Агафонова Ю.О. Методики оценки качества городской среды городов-миллионников // Казанский экономический вестник. – 2020. – № 1 (45). – С. 11–17.
3. Дидковская О.В., Селезнева Ж.В. К вопросу о методике оценки комфортности городских территорий // Основы экономики, управления и права. – 2023. – № 3(38). – С. 41–45. DOI: 10.51608/23058641_2023_3_41
4. Беляева Л.О., Стрелец К.И. Оценка комфортности городской среды // Русский журнал строительных наук и технологий. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 33–47. DOI: 10.15826/rjst.2023.1.004
5. Полякова Н.В., Залешин В.Е., Поляков В.В. Диагностика комфортности среды проживания в городах: обоснование и формирование методики // Известия Байкальского государственного университета. – 2020. – Т. 30, № 1. – С. 121–129. DOI: 10.17150/2500-2759.2020.30(1).121-129
6. Маслова Л.А. Купряшина Д.С. Разработка концепции мониторинга рекреационных зон // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2020. – № 3(113). – С. 123–129. DOI: 10.26726/1812-7096-2020-3-123-129
7. Федорова В.С., Бакуменко Ю.С. Оценка качества поверхностных вод водоемов как объектов рекреации [Электронный ресурс] // Экологический вестник Донбасса. – 2021. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-poverhnostnyh-vod-vodoyomov-kak-obektov-rekreatsii> (дата обращения: 05.08.2025).
8. Мамина Л.В. Роль химического загрязнения в оценке состояния рекреационного водоема // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 2. – С. 200–203.
9. Жонсон А.А., Лопатина М.Г. Практика обоснования реконструкции рекреационных водоемов Санкт-Петербурга // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2003. – Т. 242. – С. 75–82.

10. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания [Электронный ресурс]. – URL: https://korolev.ru/wp-content/uploads/2023/10/d_4698342180.pdf (дата обращения: 05.08.2025).

11. МР 2.1.10.0031-11. Комплексная оценка риска возникновения бактериальных кишечных инфекций, передаваемых водным путем [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/898939143> (дата обращения: 05.08.2025).

Количественная оценка поступления загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в организм человека на основе математической модели дыхательной системы

М.Ю. Цинкер^{1,2}, П.Д. Свинцова^{1,2}

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Исследуется течение запыленного воздуха в участке воздухопроводящих путей от носовой полости до сегментарных бронхов, а также оседание пылевых частиц различных размеров и плотностей при различной интенсивности дыхания. Воздух является несущей фазой, твердые пылевые частицы – несомой фазой. Моделирование реализуется с помощью программного пакета ANSYS CFX. Получены поля скорости течения воздуха в воздухоносных путях, траектории движения частиц и количественные оценки оседания частиц в воздухоносных путях при различной интенсивности дыхания.

Ключевые слова: верхние и нижние воздухоносные пути человека, численное моделирование, нестационарный процесс, различная интенсивность дыхания, пылевые частицы, частицы микроразмера, доля осевших частиц, плотность частиц.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха является одной из серьезных современных угроз здоровью человека для большинства стран мира, в том числе – Российской Федерации (РФ), что находит отражение в докладах Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1], стратегических государственных документах РФ [2, 3]. Многочисленными зарубежными и российскими исследованиями доказано негативное воздействие загрязнения объектов окружающей среды на здоровье человека [4–10]. Для количественной оценки поступления ингаляционным путем загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в организм человека и их распределения по организму, прогнозирования риска развития профессиональной бронхолегочной патологии, обусловленной их влиянием, а также для описания процесса дыхания в

норме и при наличии патологии эффективным подходом является математическое моделирование процессов, происходящих в дыхательной системе (ДС) человека.

Для решения указанных задач авторами разрабатывается детальная математическая модель для описания функционирования дыхательной системы человека [11–19]. В разрабатываемой математической модели дыхательная система, исходя из анатомических и физиологических особенностей, описывается совокупностью двух подмоделей: течения воздуха в воздухоносных путях (ВП) [11–14] и движения воздуха в легких человека, подвергаемых упругим циклическим деформациям [15–17].

В представленной работе особое внимание уделено исследованию нестационарного течения многофазной смеси газов и твердых пылевых частиц, присутствующих в атмосферном (вдыхаемом) воздухе, а также количественной оценке осаждения частиц (различного дисперсного состава и плотности) в воздухопроводящих путях человека (в верхних и нижних) при дыхании различной интенсивности.

Исследование процесса течения запыленного воздуха и оседания пылевых частиц в воздухопроводящих путях человека выполняется численно на основе трехмерной геометрии рассматриваемых участков, восстановленной на основе данных компьютерной томографии (КТ). Рассматриваемая область воздухоносных путей включает в себя носовую полость, глотку (включающую в себя носовую, ротовую и гортанную части), гортань, трахею и 5 генераций бронхов.

Дыхание является нестационарным процессом. Воздух в ВП движется за счет разницы давлений между постоянным атмосферным давлением на входе в ВП и изменяющимся в процессе дыхания давлением на выходах из бронхов (которые являются входами в легкие). В зависимости от интенсивности дыхания в легкие человека за каждый дыхательный цикл поступает 0,5–2 литра воздуха; при этом в минуту человек совершает около 15 дыхательных циклов [20, 21]. Предполагается, что один дыхательный цикл человека длится 4 секунды, вдох и выдох длятся по 2 секунды.

В работе рассматривается три режима дыхания, различающиеся средними входными потоками воздуха ($\bar{Q}_{in}$): спокойное ($\bar{Q}_{in} = 15$ л/мин или 0,25 л/с), углубленное ($\bar{Q}_{in} = 30$ л/мин или 0.5 л/с) и интенсивное ($\bar{Q}_{in} = 60$ л/мин или 1 л/с), характерные для легкой, средней и интенсивной физической активности.

Стенки воздухопроводящих путей, содержащие хрящевую ткань, полагаются твердыми неподвижными. На стенках воздухоносных путей задается условие прилипания (no-slip condition) для несущей газовой фазы и условие оседания частиц (несомой фазы). Скорость частиц на входе в ноздри полагается равной скорости несущей газовой фазы.

Численная реализация подмодели течения воздуха в воздухопроводящих путях выполнена с использованием программного продукта Ansys CFX.

На рисунке представлены линии тока скорости воздуха в воздухоносных путях (от носовой полости до 5 генерации бронхов) во время спокойного вдоха в момент времени $t = 1$ с с начала дыхательного цикла, траектории движения частиц, график оценки оседания частиц на стенках ВП в зависимости от разной плотности и размеров.

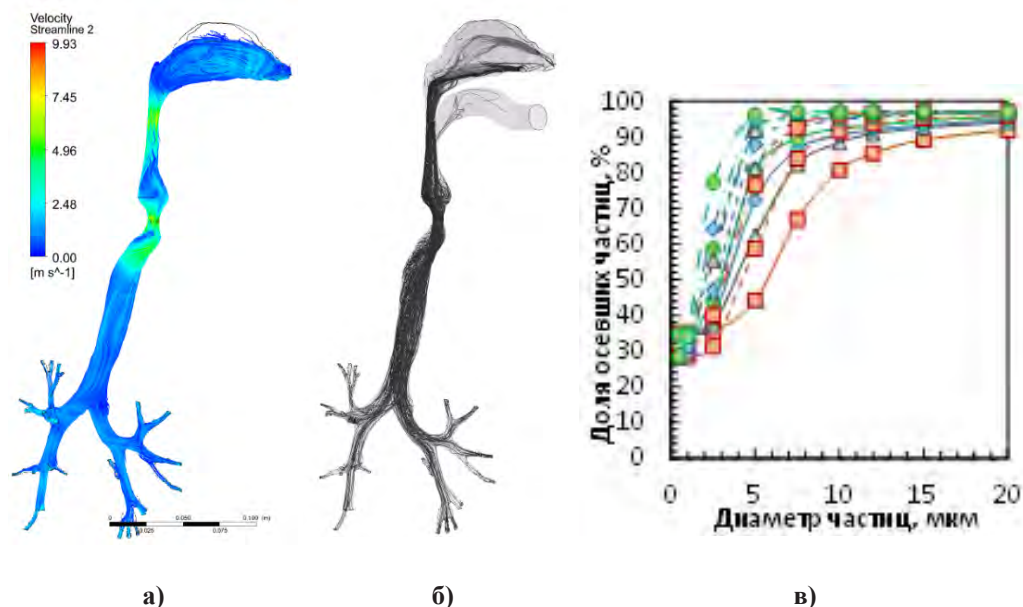


Рис. а) линии тока и поле скоростей воздуха в воздухоносных путях при спокойном, углубленном и глубоком дыхании в момент времени: $t = 1$ с;
 б) траектории движения частиц 2,5 мкм;
 в) график оценки оседания частиц разного дисперсного состава и размера

В работе исследовалось течение запыленного воздуха и оседание в воздухоносных путях твердых пылевых частиц различного диаметра (от 0,5 мкм до 20 мкм) и плотности (1000 кг/м^3 , 2000 кг/м^3 , 2700 кг/м^3 и 4000 кг/м^3) во время вдоха. Рассматривался реальный дисперсный состав частиц, присутствующих в атмосферном воздухе крупного промышленного центра Сибири [22]. Численное моделирование позволило проследить траектории движения частиц в воздухопроводящих путях, а также получить количественные оценки оседания частиц. Доля осевших частиц вычислялась как отношение частиц, осевших на стенках в процессе вдоха, к общему количеству частиц, входящих в воздухоносные пути.

Для всех рассмотренных режимов дыхания график функции доли осевших частиц в зависимости от диаметра частиц имеет вид S-образной (сигмоидной) кривой. Крупные частицы (более 10 мкм), имеющие большую массу, почти полностью оседают в воздухоносных путях. По мере уменьшения размера и плотности доля оседающих в воздухоносных путях частиц уменьшается и, соответственно, увеличивается доля частиц, достигающих более мелких воздухоносных путей и легких человека. По мере увеличения интенсивности дыхания доля осевших частиц увеличивается. Данные особенности обусловлены инерционным механизмом оседания – при резкой смене направления потока несущей фазы «тяжелые» частицы продолжают по инерции двигаться в прежнем направлении, ударяются о поверхность слизистой и оседают на ней. С увеличением массы частиц и скорости их движения данный механизм оседания имеет более выраженный характер.

В рамках разработки математической модели дыхательной системы человека параллельно ведется работа над исследованием процессов течения воздуха в легких человека, рассматриваемых как сплошная упруго-деформируемая насыщенная пористая среда [16, 17]. Результаты по исследованию движения и оседания частиц в воздухопроводящих путях являются входными данными для дальнейшего исследования течения с применением разрабатываемой подмодели легких человека. Дальнейшее развитие модели предполагает изучение движения воздуха, содержащего пылевые частицы, в легких человека, исследование пространственного распределения и осаждения частиц в легких, а также моделирование развития бронхолегочных патологий, связанных с негативным воздействием факторов среды обитания.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2025-0001).

Список литературы

1. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide [Электронный ресурс]. – Geneva: World Health Organization, 2021. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34662007/> (дата обращения: 12.02.2025).
2. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/71937200/> (дата обращения: 12.02.2025).
3. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726> (дата обращения: 12.02.2025).
4. The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system / Y.-F. Xing, Y.-H. Xu, M.-H. Shi, Y.-X. Lian // Journal of Thoracic Disease. – 2016. – Vol. 27, № 1. – P. E69–E74. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19
5. Estimating premature mortality attributable to PM_{2.5} exposure and benefit of air pollution control policies in China for 2020 / K.J. Maji, A.K. Dikshit, M. Arora, A. Deshpande // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 612. – P. 683–693. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.254
6. The effect of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across China and its provinces, 1990-2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017 / Yin P., Brauer M., Cohen A.J., Wang H., Li J. [et al.] // Lancet Planet Health. – 2020. – Vol. 4, № 9. – P. e386–e398. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30161-3
7. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний / В.Н. Ракитский, С.Л. Авалиани, С.М. Новиков, Т.А. Шашина, Н.С. Додина, В.А. Кислицин // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 4. – С. 30–36. DOI: 10.21668/health.risk/2019.4.03
8. Grzywa-Celińska A., Krusiński A., Milanowski J. ‘Smoking kills’ - Effects of air pollution on human respiratory system // Ann. Agric. Environ. Med. – 2020. – Vol. 27, № 1. – P. 1–5. DOI: 10.26444/aaem/110477

9. Adamkiewicz G., Liddie J., Gaffin J.M. The Respiratory Risks of Ambient/ Outdoor Air Pollution // Clin. Chest Med. – 2020. – Vol. 41, № 4. – P. 809–824. DOI: 10.1016/j.ccm.2020.08.013

10. Associations between short-term exposure to ambient air pollution and lung function in adults / T. Wei, C. Chen, Y. Yang, L. Li, J. Wang, M. Ye, H. Kan, D. Yang, Y. Song, J. Cai, D. Hou // J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. – 2023. DOI: 10.1038/s41370-023-00550-0

11. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. Моделирование процесса дыхания человека: концептуальная и математическая постановки // Математическая биология и биоинформатика. – 2016. – Т. 11, № 1. – С. 64–80. DOI: 10.17537/2016.11.64

12. Моделирование течения запыленного воздуха в респираторном тракте / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, А.В. Бабушкина // Российский журнал биомеханики. – 2018. – Т. 22, № 3. – С. 301–314. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2018.3.03

13. Математическая модель течения воздуха с твердыми частицами в носовой полости человека / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, А.В. Некрасова // Математическая биология и биоинформатика. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 349–366. DOI: 10.17537/2021.16.349

14. Численное исследование нестационарного течения запыленного воздуха и оседания пылевых частиц различных размеров в нижних дыхательных путях человека / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, А.И. Кучуков // Математическая биология и биоинформатика. – 2023. – Т. 18, № 2. – С. 347–366. DOI: 10.17537/2023.18.347

15. Трусов П.В., Зайцева Н.В., Цинкер М.Ю. О моделировании течения воздуха в легких человека: конститутивные соотношения для описания деформирования пористой среды // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – № 4. – С. 165–174. DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.14

16. Моделирование течения воздуха в упруго-деформируемой пористой среде, аппроксимирующей легкие человека: структура модели, ее основные уравнения и разрешающие соотношения / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, В.В. Нурисламов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 219–231. DOI: 10.7242/1999-6691/2024.17.2.20

17. Моделирование течения воздуха в упруго-деформируемой пористой среде, аппроксимирующей легкие человека: алгоритм реализации и анализ результатов применения модели / П.В. Трусов, Н.В. Зайцева, М.Ю. Цинкер, В.В. Нурисламов // Вычислительная механика сплошных сред. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 329–346. DOI: 10.7242/1999-6691/2024.17.3.28

18. Оценка пространственного распределения зон локализации риска развития бронхолегочной патологии на основе математического моделирования воздушно-пылевых потоков в дыхательных путях и легких человека / П.В. Трусов, М.Ю. Цинкер, Н.В. Зайцева, В.В. Нурисламов, П.Д. Свинцова, А.И. Кучуков // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 141–152. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.13

19. Quantitative Estimation of Micro-sized Particle Deposition in Tracheobronchial Airways / P.V. Trusov, N.V. Zaitseva, M.Yu. Tsinker, A.I. Kuchukov, P.D. Svintsova // Aerosol and Air Quality Research. – 2025. – Vol. 25. – № 29. DOI: 10.1007/s44408-025-00032-y

20. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы. – М.: Мир, 1988. – 196 с.

21. Respiratory simulator for robotic respiratory tract treatments in Proc / M.E. Giannaccini, K. Yue, J. Graveston, M. Birchall, A. Conn, J. Rossiter // IEEE Int. Conf. Robot. Biomimet. (ROBIO). – 2017. – P. 2314–2319. DOI: 10.1109/ROBIO.2017.8324764

22. Распределение твердых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натурный эксперимент / Н.В. Зайцева, Д.А. Кирьянов, С.В. Клейн, М.Ю. Цинкер, А.М. Андришунас // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 412–420. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420

К вопросу о необходимости использования современных методик количественной оценки неканцерогенного риска для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия

К.В. Четверкина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В работе рассматриваются современные подходы к количественной оценке неканцерогенного риска здоровью населения. Традиционные методы, основанные на использовании точечных расчетов, имеют существенные ограничения и не позволяют в полной мере учесть вариабельность данных и сложность биологических механизмов. В статье рассматриваются современные направления развития методологии, включая физиологически обоснованное моделирование, анализ путей неблагоприятных исходов, вероятностные методы. Подчеркивается необходимость интегративного применения различных методологических подходов для повышения точности прогноза в задачах обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия.

Ключевые слова: санитарно-эпидемиологическое благополучие, количественная оценка риска, современные подходы, неканцерогенный риск, моделирование.

Санитарно-эпидемиологическое благополучие является одним из ключевых условий устойчивого развития общества и требует надежных инструментов оценки воздействия факторов среды обитания на здоровье человека [1]. Методы оценки риска здоровью, основанные на сравнении экспозиции с референтными уровнями, являются важной и неотъемлемой частью традиционного гигиенического подхода, но в сложившихся современных условиях не отвечают современным вызовам, требующим учета вариабельности экспозиции и её динамических изменений, особенностей комбинированного воздействия факторов, фармакодинамических и фармакокинетических механизмов действия и т.д. [2, 3].

Международная практика всё чаще опирается на более сложные инструменты при оценке риска здоровью, включая такие методы, как РВРК-моделирование,

вероятностные модели и концепцию путей неблагоприятных исходов (AOPs). Так, ВОЗ рекомендует использование РВРК-моделей и вероятностных подходов [4], в то время как U.S. EPA [5] акцентирует внимание на важности вероятностной оценки при множественных воздействиях. Данные подходы отражают переход от статичного анализа к более динамичной, комплексной и научно обоснованной системе количественной оценки риска здоровью. Их внедрение в практику открывает возможность разработки более адресных профилактических мер, ориентированных на результативное снижение заболеваемости и повышение качества жизни населения.

Таким образом, традиционный подход к оценке риска здоровью остаётся необходимым элементом системы гигиенического нормирования, но рассматривается как базовый, а не как исчерпывающий инструмент. Для решения более сложных задач требуются современные модели, сочетающие различные методы оценки и обработки данных. Это позволит сформировать высоко обоснованную базу для разработки и реализации управленческих решений, направленных на укрепление санитарно-эпидемиологического благополучия.

Цель исследования – провести краткий обзор современных методических подходов к количественной оценке неканцерогенного риска здоровью населения для задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия.

Материалы и методы. В качестве исходных материалов использованы действующие российские и зарубежные нормативно-методические документы, публикации, международные руководства и результаты релевантных научных исследований. Отбор и анализ источников осуществлялся по критериям актуальности, научной обоснованности, открытости материалов и их соответствия современным вызовам в области охраны здоровья населения.

Результаты и обсуждение. Одним из наиболее информативных инструментов количественной оценки неканцерогенного риска здоровью населения являются физиологически обоснованные фармакокинетические и фармакодинамические модели (РВРК/РВРД). Данные модели позволяют интегрировать знания о базовых биологических процессах – абсорбции, распределении, метаболизме, элиминации, а также механизмах действия токсикантов. Их использование обеспечивает возможность учёта анатомо-физиологических особенностей организма и индивидуальной вариабельности (возраст, пол, генетическая предрасположенность, состояние здоровья) [6].

Ключевым преимуществом РВРК/РВРД-подходов является возможность экстраполяции результатов, полученных в доклинических исследованиях на животных моделях, на человека, а также интеграция данных *in vitro*, *in vivo* и эпидемиологических исследований и моделирование сложных сценариев комбинированного воздействия [7]. Вместе с тем высокая сложность и необходимость большого объёма исходных данных требуют привлечения квалифицированных специалистов и значительных вычислительных ресурсов [8]. Кроме того, следует учитывать, что РВРК/РВРД-модели являются упрощённым отражением реальности и содержат элемент неопределённости, связанный с качеством параметров и полнотой используемой информации.

Другим направлением развития количественной оценки риска здоровью являются вероятностные методы (*probabilistic methods*), которые формируют распределение возможных значений риска и позволяют учитывать как неопределённость, так

и вариабельность исходных данных. Это особенно важно для сложных сценариев воздействия, когда необходимо оценить не только средний уровень риска, но и вероятность наступления различных исходов [9].

Наиболее широко применяемым инструментом в данной группе является метод Монте-Карло, основанный на многократном моделировании с использованием случайно сгенерированных параметров, что позволяет получать распределения вероятностей риска и оценивать диапазон сценариев воздействия. Дополнительные возможности открывает байесовский анализ, позволяющий уточнять априорные оценки риска при поступлении новых данных и повышать точность прогноза.

Основным преимуществом вероятностных методов является их способность учитывать неопределённость и вариабельность данных. Вместе с тем их применение требует значительных вычислительных ресурсов и высокой степени подготовленности исходных данных.

К числу современных подходов относится анализ путей неблагоприятных исходов (Adverse Outcome Pathways, AOP), который описывает последовательность биологических событий – от молекулярного взаимодействия вещества с биомишенью до развития клинически значимого эффекта. Данный инструмент способствует выявлению ранних биомаркеров токсического действия и формированию научно обоснованных критериев для оценки опасности химических факторов [8]. Вместе с тем реализация AOP-подхода сопряжена с высокой трудоёмкостью разработки, необходимостью интеграции мультидисциплинарных данных и недостаточностью информации по широкому спектру веществ. Недостаток унифицированных стандартов построения AOP-моделей также ограничивает их широкое внедрение в практику [9].

Вывод. Количественная оценка неканцерогенного риска продолжает оставаться ключевым инструментом обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Использование современных методических подходов (РВРК/РВРД-моделей, вероятностных методов и анализа AOP), несмотря на высокие требования к необходимой квалификации специалистов, качеству исходных данных и техническому сопровождению, является перспективным, так как позволяет существенно расширить возможности прогнозирования неблагоприятных эффектов и повысить научную обоснованность принимаемых управленческих решений для задач обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия. При этом перспективным направлением является использование интегративного подхода.

Список литературы

1. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ. – М.: Роспотребнадзор, 2023. – 203 с.
2. Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 4. – С. 33–41. DOI: 10.21668/health.risk/2023.4.03
3. Mixture risk assessment and human biomonitoring: Lessons learnt from HBM4EU / M. Luijten, J. Vlaanderen, A. Kortenkamp, J.-P. Antignac, R. Barouki, W. Bil, A. van den Brand, S. den Braver-Sewradj [et al.] // International Journal of Hygiene and Environmental Health. – 2023. – Vol. 249. – P. 114135. DOI: 10.1016/j.ijheh.2023.114135

4. WHO Human Health Risk Assessment Toolkit: Chemical Hazards [Электронный ресурс]. – Geneva: World Health Organization, 2022. – URL: <https://www.inchem.org/documents/harmproj/harmproj/harmproj8.pdf> (дата обращения: 10.06.2025).

5. Guidelines for cumulative risk assessment: Planning and problem formulation [Электронный ресурс]. – Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2025. – URL: https://www.epa.gov/system/files/documents/2025-01/guidelines-for-cumulative-risk-assessment-planning-and-problem-formulation_0.pdf (дата обращения: 10.06.2025).

6. Deepika D., Kumar V. The Role of “Physiologically Based Pharmacokinetic Model (PBPK)” New Approach Methodology (NAM) in Pharmaceuticals and Environmental Chemical Risk Assessment // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20, № 4. – P. 3473. DOI: 10.3390/ijerph20043473

7. Integration of toxicogenomics and physiologically based pharmacokinetic modeling in human health risk assessment of perfluorooctane sulfonate [Электронный ресурс]. – Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2023. – URL: <https://assessments.epa.gov/risk/document/%26deid%3D358294> (дата обращения: 10.06.2025).

8. Adverse Outcome Pathway (AOP) Research Brief [Электронный ресурс]. – Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2023. – URL: <https://www.epa.gov/chemical-research/adverse-outcome-pathway-aop-research-brief> (дата обращения: 10.06.2025).

9. Advances in Adverse Outcome Pathways for chemical risk assessment // Current Opinion in Toxicology. – 2024. – Vol. 37. – Article 100508. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246811132400032X> (дата обращения: 10.06.2025).

Характеристика заболеваемости взрослого населения Пермского края болезнями системы кровообращения по данным социально-гигиенического мониторинга, возможные факторы риска

М.А. Шимова

Научный руководитель – к.м.н. Т.Н. Говязина

ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»,
г. Пермь, Россия

На основании данных социально-гигиенического мониторинга проведен анализ общей и первичной заболеваемости взрослого населения по всем муниципальным образованиям Пермского края по классу болезней системы кровообращения. Рассчитаны средние многолетние уровни заболеваемости по этому классу за десятилетний период

(2014–2023 гг.). Выделены территории риска по общей и первичной заболеваемости. Для наиболее неблагоприятных районов проведена оценка показателей динамического ряда, осуществлён прогноз заболеваемости до 2026 г. Изучение литературы по теме позволило определить возможные факторы риска болезней системы кровообращения.

Ключевые слова: болезни системы кровообращения, общая и первичная заболеваемость, многолетняя динамика заболеваемости, Пермский край, факторы риска.

В экономически развитых странах общая заболеваемость болезнями системы кровообращения (БСК) составляет в среднем до 250 случаев на 1000 жителей, то есть практически каждый четвертый житель этих стран имеет данную патологию [1]. Сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место среди всех причин смертности в мире [2].

Болезни системы кровообращения являются одной из приоритетных проблем и для Пермского края (ПК): в структуре причин смертности населения они занимают первое место с удельным весом 48,6 %. Помимо этого, за 2021–2023 гг. наблюдается рост уровня первичной заболеваемости (ПЗ) БСК среди взрослого населения ПК на 27,4 % (с 30,5 случая на 1000 взрослого населения до 38,9) [3].

Целью исследования является анализ общей (ОЗ) и первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения в Пермском крае за 2014–2023 гг. и изучение возможных факторов риска БСК по данным литературы.

Материалы и методы. Исследование проведено на основании анализа данных социально-гигиенического мониторинга (СГМ), представленных ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Пермскому краю» за период 2014–2023 гг. (материал предоставлен в виде Excel-таблиц, где общая и первичная заболеваемость приведена в виде интенсивных показателей на 1000 населения).

Рассчитаны средние многолетние уровни (СМУ) общей и первичной заболеваемости БСК для всех муниципальных образований ПК (городских (ГО) и муниципальных округов (МО)) за указанный десятилетний период. Выделены территории риска по ОЗ и ПЗ БСК, на которых СМУ заболеваемости значительно превышает таковой в ПК (для оценки значимости различий использован t-критерий Стьюдента и 95%-ный доверительный интервал (ДИ)). Для наиболее неблагоприятных территорий выполнен анализ показателей динамического ряда (темпов прироста (ТП) и темпов снижения (ТС)), произведён прогноз заболеваемости до 2026 года с использованием полиномиального тренда второй степени. На основании данных литературы проведено изучение возможных факторов риска БСК.

Методы исследования – информационно-библиографический, статистический с графическим анализом.

Результаты. На основании сравнения средних многолетних уровней общей заболеваемости БСК с использованием 95%-ного ДИ были выделены территории ПК, на которых СМУ достоверно превышает краевые значения. Такими муниципальными образованиями являются: Кизеловский МО, Лысьвенский МО, Чайковский ГО, Чусовской МО, Березовский МО, Большесосновский МО, Еловский МО, Кишертский МО, Ординский МО, Очерский МО, Сивинский МО, Суксунский МО, Уинский МО, Чернушинский МО, Гайнский МО, Юрлинский МО (рис. 1). Самые высокие СМУ общей заболеваемости БСК фиксируются в пяти округах: Чусовской МО

(429,6 случая на 1000 населения), Кишертский МО (415,9 случая на 1000), Гайнский МО (410,5 случая на 1000), Большесосновский МО (407,0 случая на 1000), Сивинский МО (386,6 случая на 1000). Обращает на себя внимание Чусовской МО, где СМУ ОЗ значительно превышает как уровень по ПК, так и по остальным наиболее неблагоприятным территориям ($t > 2$, $p < 0,05$).

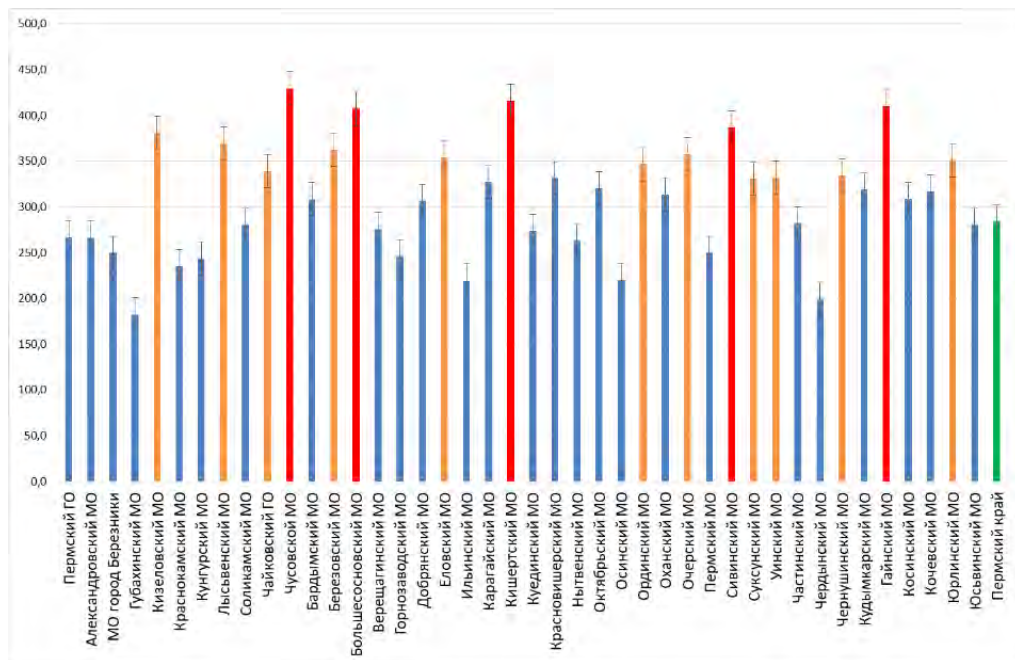


Рис. 1. СМУ общей заболеваемости БСК (на 1000 населения) за 2014–2023 гг. среди взрослого населения всех муниципальных образований ПК: оранжевым обозначены территории, где СМУ достоверно превышает краевой уровень; красным – наиболее неблагоприятные территории; зелёным – уровень заболеваемости в ПК

Для пяти районов с наиболее высоким СМУ проведена оценка многолетней динамики общей заболеваемости за десять лет (2014–2023 гг.). За период наблюдения показатели ОЗ превышали краевые значения на всех территориях. Выявленная тенденция к росту заболеваемости фиксируется в Кишертском МО, о чём свидетельствует ТП 2014–2023 гг., равный 23,9 %. Значимое снижение заболеваемости, связанное с пандемией COVID-19, отмечалось в Сивинском МО, ТС в 2021 г. по сравнению с 2020 г. составил 29,7 %. Наиболее выраженный рост заболеваемости, после вызванного пандемией спада, наблюдался в Большесосновском МО (ТП в 2022 г. к 2021 г. – 38,0 %), Гайнском МО (ТП в 2021 г. к 2020 г. – 26,3 %) и Сивинском МО (ТП в 2022 г. к 2021 г. – 19,1 %). В Гайнском МО отмечалось волнообразное изменение заболеваемости со снижением в 2017–2020 гг. и ростом в 2021–2023 гг. В Чусовском МО заболеваемость в последние годы характеризовалась постепенным снижением, о чём свидетельствуют ТС в 2021, 2022 и 2023 гг., составляющие 2,6 %, 4,3 % и 9,6 % к предыдущему году соответственно. Данные представлены на рисунке 2.

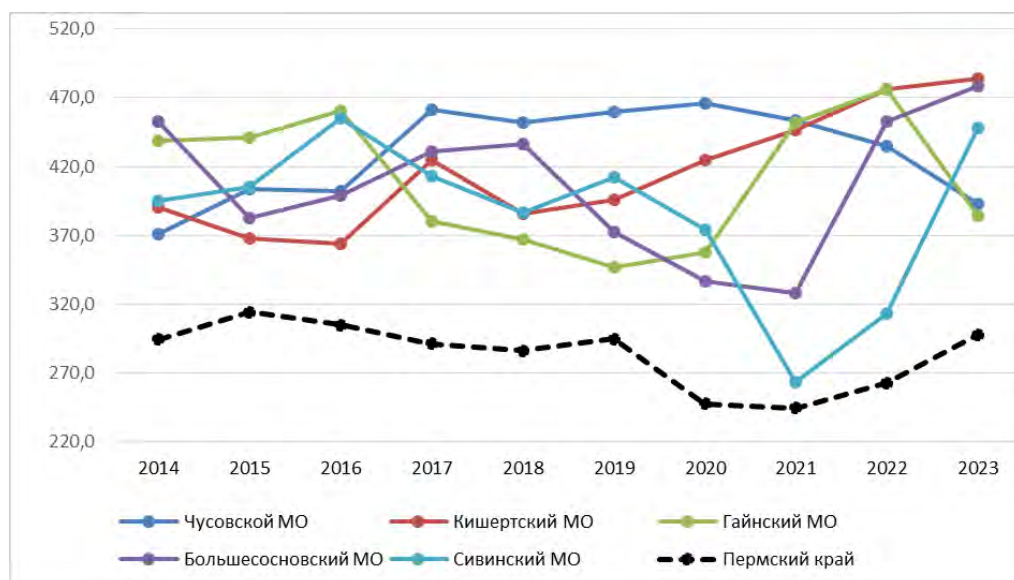


Рис. 2. Многолетняя динамика ОЗ БСК в наиболее неблагоприятных округах ПК и Пермском крае за 2014–2023 гг. (на 1000 населения)

Для Чусовского МО, как для наиболее неблагоприятной территории ПК по ОЗ БСК, произведён прогноз общей заболеваемости БСК до 2026 г. с использованием полиномиального тренда второй степени. Согласно прогнозу, будет наблюдаться снижение ОЗ, в 2026 г. показатель составит 274,6 случая на 1000 населения (рис. 3).

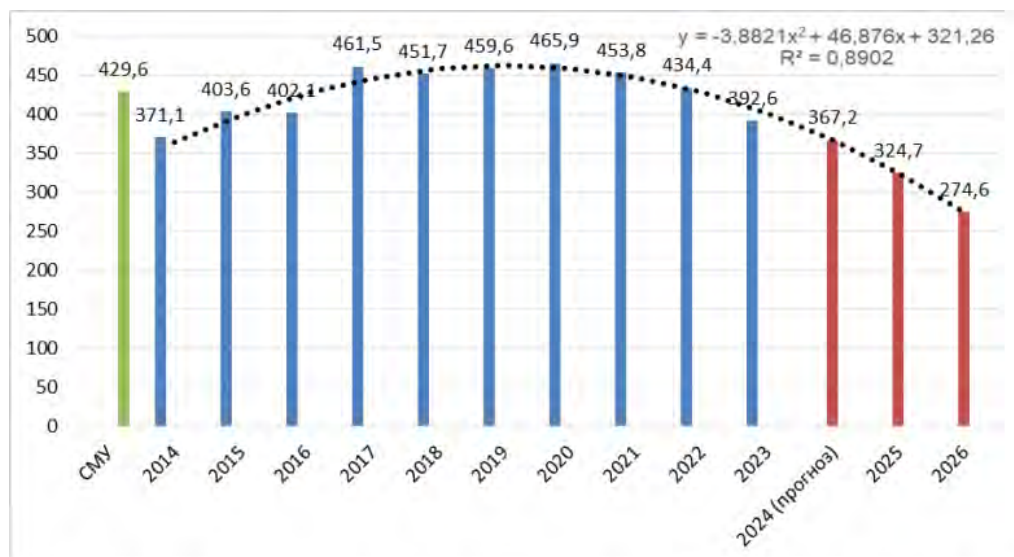


Рис. 3. Многолетняя динамика ОЗ БСК в Чусовском МО за 2014–2023 гг., СМУ, прогноз на 2024–2026 гг. (на 1000 населения)

В качестве наиболее чувствительного показателя изменения заболеваемости нами была также изучена первичная заболеваемость БСК.

Анализ первичной заболеваемости показывает, что при сравнении средних многолетних уровней ПЗ БСК с использованием 95%-ного ДИ территориями ПК, на которых СМУ достоверно превышает краевые значения, являются: Кизеловский МО, Соликамский МО, Березовский МО, Большесосновский МО, Добрянский МО, Карагайский МО, Куединский МО, Осинский МО, Сивинский МО, Частинский МО, Чердынский МО, Гайнский МО, Кочевский МО (данные представлены на рисунке 4). Самые высокие СМУ первичной заболеваемости БСК фиксируются в пяти округах: Добрянский МО (64,0 случая на 1000 населения), Кочевский МО (61,8 случая на 1000), Большесосновский МО (60,2 случая на 1000), Куединский МО (59,2 случая на 1000), Частинский МО (50,8 случая на 1000) (рис. 4).

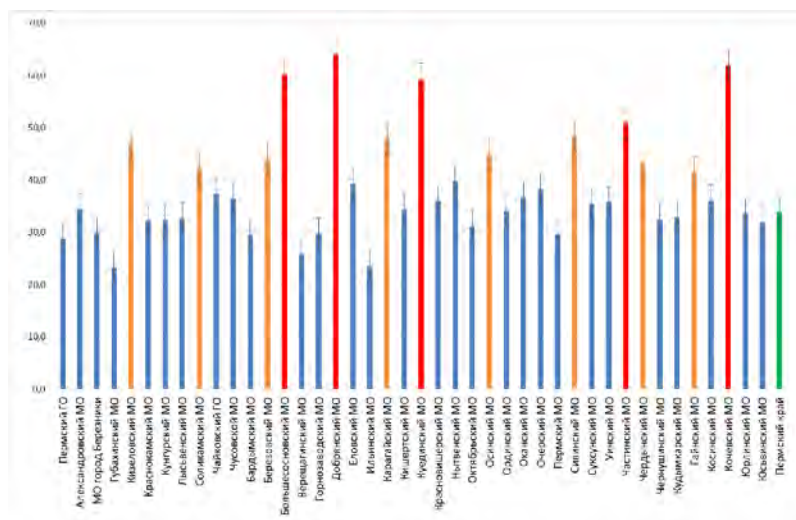


Рис. 4. СМУ первичной заболеваемости БСК (на 1000 населения) за 2014–2023 гг. среди взрослого населения всех муниципальных образований ПК: оранжевым обозначены территории, где СМУ достоверно превышает краевой уровень; красным – наиболее неблагоприятные территории; зелёным – уровень заболеваемости в ПК

Для пяти районов с наиболее высоким СМУ проведена оценка многолетней динамики первичной заболеваемости за десять лет (2014–2023 гг.). За весь период наблюдения показатели ПЗ превышали значения по ПК в Большесосновском и Кочевском МО. В Добрянском МО уровень заболеваемости был ниже краевого только в 2015 г. Выраженная тенденция к росту заболеваемости наблюдается в Частинском, Добрянском и Кочевском муниципальных округах, о чём свидетельствуют темпы прироста 2014–2023 гг., равные 108,8 %, 98,7 %, 91,2 % соответственно. Наиболее выраженные изменения заболеваемости, связанные с пандемией COVID-19, отмечались в Кочевском МО, темпы снижения 2019–2020 гг. составили 45,8 %, 37,3 % к предыдущему году соответственно; после вызванного пандемией снижения наблюдался резкий рост заболеваемости (ТП в 2021 г. к 2020 г. – 163,9 %). Также значительный спад заболеваемости из-за пандемии COVID-19 фиксировался в Куединском МО, ТС

в 2020 г. к 2019 г. составил 59,9 %. Обращает на себя внимание выраженный подъём первичной заболеваемости в Добрянском МО в 2017 г., ТП к предыдущему году – 99,7 %. В 2023 г. в Большесосновском, Куединском и Частинском МО отмечалось снижение ПЗ (ТС – 29,3 %, 35,8 %, 42,7 % к 2022 г. соответственно), в Кочевском МО – незначительный рост (ТП к 2022 г. – 1,9 %) и увеличение заболеваемости в Добрянском МО (ТП к предыдущему году – 29,2 %) (рис. 5).

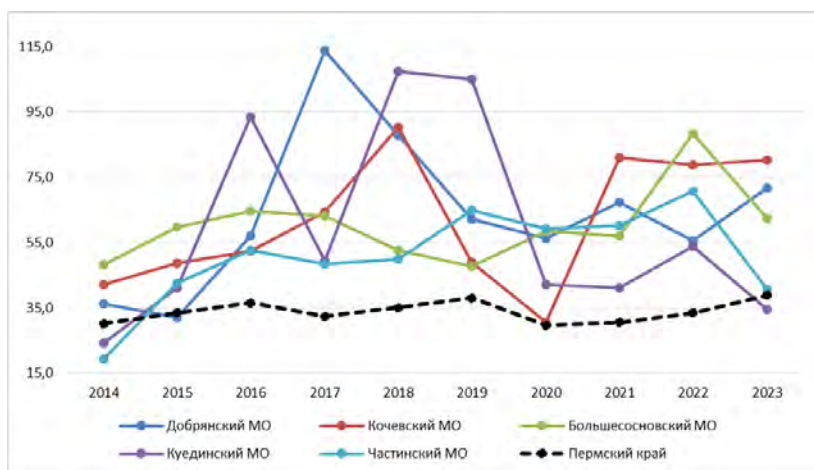


Рис. 5. Многолетняя динамика ПЗ БСК в наиболее неблагоприятных округах ПК и Пермском крае за 2014–2023 гг. (на 1000 населения)

Для Добрянского МО, как наиболее неблагоприятного по ПЗ БСК, произведён её прогноз до 2026 г. с использованием полиномиального тренда второй степени. Согласно прогнозу, будет наблюдаться снижение ПЗ, в 2026 г. показатель составит 4,7 случая на 1000 населения (рис. 6).

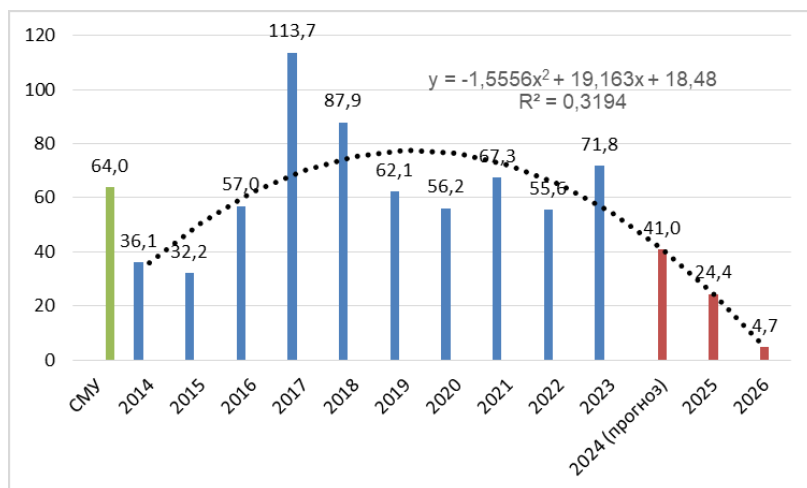


Рис. 6. Многолетняя динамика ПЗ БСК в Добрянском МО за 2014–2023 гг., СМУ, прогноз на 2024–2026 гг. (на 1000 населения)

По данным литературы, факторы риска БСК делятся на неустранимые (не модифицируемые, биологические): мужской пол, возраст (старше 55 лет для мужчин, старше 65 лет для женщин), наследственность. И устранимые (модифицируемые): курение, чрезмерное употребление алкоголя, гиподинамия, избыточная масса тела, повышение общего холестерина более 5,2 ммоль/л, повышение липопротеинов низкой плотности [4].

В настоящее время большое внимание уделяется изучению психосоциальных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как стресс на рабочем месте, семейное положение, сниженный уровень социальной поддержки, тревожность, депрессия и др. В ряде европейских исследований показано, что риск сердечно-сосудистой смертности наиболее высок у одиноких, никогда не состоявших в браке мужчин по сравнению с теми, которые состояли в браке. В одном из японских исследований выявлен повышенный в 7 раз относительный риск патологии коронарных сосудов у лиц с расстройствами эмоциональной сферы, в отличие от здоровых людей [5].

На сегодняшний день, по данным некоторых исследований, выявлено около 200 факторов риска, влияющих на течение БСК. На развитие БСК у трудоспособного населения, помимо вышеперечисленных факторов, влияют условия труда: вибрация, шум, неблагоприятный микроклимат, тяжесть и напряженность труда, загрязнение воздуха рабочей зоны комплексом токсических веществ. Исследование, проведенное в г. Уфе (авторы Валеева Э.Т., Гимранова Г.Г., Шайхлисламова Э.Р.), показало, что работа в тяжёлых условиях труда при воздействии комплекса вредных производственных факторов в сочетании с курением, гиперхолестеринемией, избыточной массой тела существенно повышает риск БСК [6].

Также исследование, проведенное в г. Кемерово (авторы Агиенко А.С., Строкольская И.Л., Херасков В.Ю., Артамонова Г.В.), выявило низкий уровень приверженности к профилактическим мероприятиям пациентов и врачей первичного звена. Среди опрошенных лиц, имеющих факторы риска развития БСК или уже сформировавшиеся заболевания, обращались за медицинской помощью 85,32 %, получили рекомендации по изменению образа жизни 38,1 %, но даже среди получивших рекомендации около 80 % не изменило свой образ жизни (не отказались от вредных привычек, не повысили уровень физической активности). Что свидетельствует о необходимости поиска иных подходов к профилактике БСК и повышению осведомлённости населения [7].

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. СМУ общей заболеваемости БСК достоверно превышает таковой по Пермскому краю (на основании расчёта 95%-ного ДИ) в 16 муниципальных образованиях, наиболее неблагоприятная ситуация наблюдается в Чусовском, Кишертском, Гайнском, Большесосновском и Сивинском муниципальных округах. СМУ первичной заболеваемости БСК достоверно превышает краевой в 13 муниципальных образованиях, наиболее неблагоприятными являются: Добрянский, Кочевский, Большесосновский, Куединский, Частинский муниципальные округа. Необходимо отметить, что Большесосновский МО является территорией риска как по общей, так и по первичной заболеваемости БСК.

2. При изучении многолетней динамики ОЗ в пяти районах риска установлено, что тенденция к росту общей заболеваемости отмечается в Кишертском МО, пандемия COVID-19 наиболее значимо повлияла на динамику общей заболеваемости в Большесосновском и Сивинском МО.

Анализ многолетней динамики ПЗ также по пяти районам риска показывает тенденции к росту заболеваемости в Частинском, Добрянском и Кочевском МО. Наиболее выраженные изменения первичной заболеваемости, связанные с пандемией COVID-19, отмечались в Кочевском и Куединском МО.

3. Для самых неблагоприятных территорий – Чусовского МО по ОЗ БСК и Добрянского МО по ПЗ БСК – сделан прогноз заболеваемости до 2026 г. с использованием полиномиального тренда второй степени. На обеих территориях будет наблюдаться снижение заболеваемости.

4. Установленные в ходе изучения литературных данных факторы риска БСК (биологические, факторы образа жизни, психосоциальные факторы, условия труда) применимы и для Пермского края.

Результаты проведённого исследования могут быть использованы для углублённого изучения факторов риска на выделенных неблагоприятных территориях, разработки комплексных муниципальных программ профилактики.

Список литературы

1. Болезни системы кровообращения как современная проблема общественного здоровья / С.А. Суслин, О.В. Кирьякова, Г.П. Богатырева [и др.] // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024. – № 1. – С. 540–560.
2. Махамадходжаева М.А., Дониев И. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний // Scientificprogress. – 2021. – Т. 2. № 6. – С. 1902–1906.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Пермском крае в 2024 году: Государственный доклад – П.: Управление Роспотребнадзора по Пермскому краю, ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае», 2025. – 260 с.
4. Цаликова А.А. Факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний и информированность о них населения // International scientific review. – 2015. – С. 5–9.
5. Глушанко В.С., Орехова Л.И. Анализ проблемы распространённости модифицируемых факторов риска развития болезней системы кровообращения (обзорная статья) // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2019. – № 2. – С. 346–363.
6. Валеева Э.Т., Гимранова Г.Г., Шайхлисламова Э.Р. Производственные и непроизводственные факторы риска развития болезней системы кровообращения у работников нефтяной промышленности // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. – 2021. – № 3 (336). – С. 4–8.
7. Эпидемиология факторов риска болезней системы кровообращения и обращаемость населения за медицинской помощью / А.С. Агиенко, И.Л. Строкольская, В.Ю. Херасков, Г.В. Артамонова // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. – 2022. – Т. 11, № 4. – С. 79–89.

Цифровой помощник для оценки рисков для здоровья при поступлении химических веществ с питьевой водой

М.А. Ширяева

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»,
г. Мытищи, Россия

Представлена разработка цифрового помощника (чат-бота), предназначенного для оценки рисков для здоровья населения при поступлении химических веществ с питьевой водой. Система реализует алгоритм количественной оценки риска, включая расчёт экспозиции и индекса риска на основе нормативных данных. Бот разработан на Python с использованием Telegram API и SQLite. Удобный интерфейс обеспечивает доступность инструмента для специалистов санитарного надзора. Цифровой помощник автоматизирует рутинные расчёты и способствует оперативной гигиенической оценке качества воды. Решение может быть интегрировано в существующие санитарные практики и использовано в условиях ограниченного доступа к экспертной информации.

Ключевые слова: цифровой помощник, питьевая вода, химическое загрязнение, оценка риска, гигиена, чат-бот.

Качество питьевой воды остаётся важнейшим фактором, влияющим на здоровье населения. ВОЗ подчёркивает, что загрязнение воды может быть причиной развития онкологических, неврологических и других хронических заболеваний [1]. В связи с этим в международной и российской практике всё более активно внедряется количественная оценка риска (QRA), включающая в себя идентификацию опасности, оценку «доза–эффект», анализ экспозиции и характеристику риска [2].

Современные технологии, включая машинное обучение, ГИС, базы данных и цифровые модели, позволяют автоматизировать этапы гигиенической оценки. В последние годы в области медицины и профилактики также активно применяются чат-боты – цифровые инструменты, способные обрабатывать обращения пользователей, выдавать экспертные рекомендации и обеспечивать дистанционное сопровождение [3, 4]. Тем не менее в сфере оценки химических рисков при водоснабжении такие решения практически не реализованы.

В Европейском союзе методика оценки риска регулируется REACH и сопутствующими рекомендациями ЕСНА – Европейского агентства по химическим веществам [5]. Методика включает обязательную процедуру CSA (Chemical Safety Assessment), в рамках которой проводится идентификация опасностей, установление уровней воздействия и проведение сравнительного анализа с ПДК и DNEL (Derived No-Effect Level).

С 2023 года в России внедрена новая официальная методика Р 2.1.10.3968–23¹, регламентирующая порядок оценки риска здоровью при использовании воды. Мето-

¹ Р 2.1.10.3968-23. Руководство по методологии оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.12.2023; введ. впервые с 01.07.2024. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 55 с.

дика включает формулы для расчёта неканцерогенного риска (НН, НН), канцерогенного риска (ICR) и индексного показателя суммарной опасности. Особенность данного подхода – ориентация на отечественные нормативы, адаптированные к российским условиям потребления воды и уровням загрязнения.

Также заслуживает внимания методология, предложенная Канадским агентством по охране окружающей среды [6], в которой используется детализированный подход к расчёту доз облучения, накопленного риска и последствий для уязвимых групп населения. В отличие от американской модели, канадская система учитывает мультифакторное воздействие, включая воздействие загрязнителей через продукты питания и воду одновременно.

Исследования китайских ученых, в частности, работы Zhang и др. (2019) [7], посвящены региональной оценке риска здоровью от содержания тяжёлых металлов в воде. Авторы адаптировали общие международные формулы к особенностям сельских регионов и предложили математическую модель расчёта риска с применением ГИС-технологий.

Проблема загрязнения питьевой воды химическими веществами и связанные с этим риски для здоровья населения являются актуальными задачами санитарной гигиены. Современный подход к контролю качества воды требует перехода от схемы «соответствует–не соответствует» к количественной оценке потенциального вреда. Оценка риска для здоровья включает четыре основных этапа: идентификацию опасности, характеристику «доза–эффект», оценку условий экспозиции и собственно расчёт риска. Современные исследования применяют методы машинного обучения и анализа больших данных для прогнозирования загрязнителей (мышьяка, нитратов, PFAS и др.) в питьевой воде.

Параллельно в медицине всё шире используются электронные чат-боты и цифровые помощники для информирования пациентов и специалистов. Такие цифровые инструменты существенно облегчают сбор и предоставление информации, однако специализированные сервисы для мгновенной оценки рисков химического загрязнения воды в интересах надзорных органов пока не разработаны.

Цель работы – разработать цифрового помощника (чат-бота) для оперативной оценки рисков для здоровья при попадании химических веществ в питьевую воду. Актуальность обусловлена необходимостью автоматизации первичного анализа, повышения доступности экспертной информации и обеспечения сопровождения специалистов санитарного надзора.

Материалы и методы. Научной основой разработки стали методические подходы, изложенные в документах ВОЗ [1] и Р 2.1.10.3968-23 [2]. В расчетах по риску развития нарушений состояния здоровья использовались следующие значения факторов экспозиции: величина водопотребления питьевой воды (взрослые – 2 литра в сутки, дети – 1 литр); продолжительность воздействия (взрослые – 30 лет, дети – 6 лет); период осреднения (взрослые – 30 лет, дети – 6 лет); частота воздействия (350 дней в год); масса тела человека (взрослые – 70 кг, дети – 15 кг).

Алгоритм расчёта риска для здоровья при поступлении химических веществ с питьевой водой основан на методологии количественной оценки риска (QRA), адаптированной для автоматизированной обработки в рамках цифрового помощника (рис.1). В основе расчётов лежат данные о концентрациях химических веществ,

полученные из лабораторных исследований или мониторинга, и нормативные показатели, такие как предельно допустимые концентрации (ПДК) и референтные дозы (RfD), определённые в соответствии с действующими санитарными регламентами и рекомендациями ВОЗ.

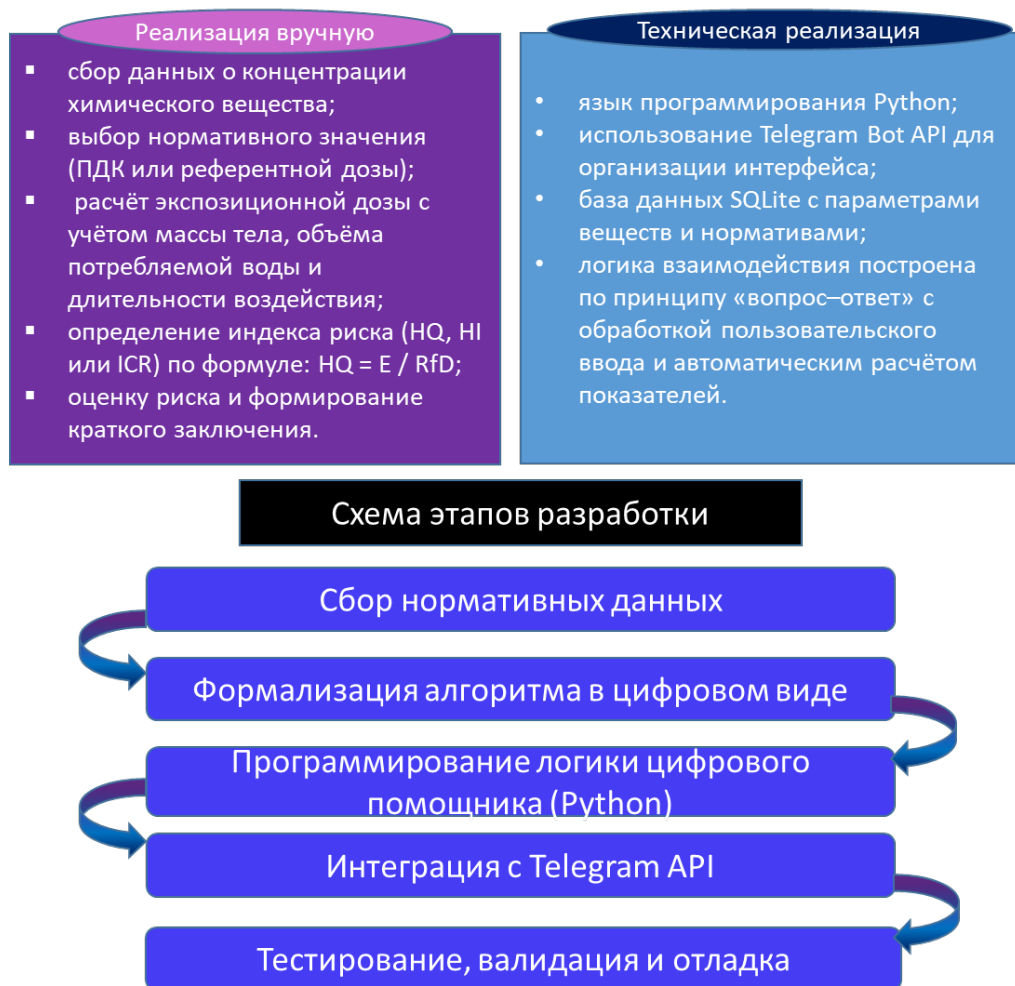


Рис. 1. Схема алгоритма расчёта риска для здоровья при поступлении химических веществ с питьевой водой (разработано автором)

Согласно руководству Р 2.1.10.3968-23 методика включает четыре ключевых этапа, каждый из которых опирается на общепринятую модель оценки риска. Оценка риска осуществляется поэтапно:

1. Идентификация опасности – выявление химических веществ, присутствующих в питьевой воде, и установление их потенциальной опасности для здоровья.
2. Оценка экспозиции – определение уровня и длительности воздействия загрязняющих веществ на человека.

3. Оценка зависимости «доза–эффект» – анализ научных данных, устанавливающих связь между уровнем воздействия и вероятностью возникновения негативных эффектов.

4. Характеристика риска – расчет количественных показателей риска, интерпретация результатов и принятие решений.

Средняя суточная доза рассчитывается согласно формуле 1 (ADD – Average Daily Dose):

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}, \quad (1)$$

где IR – суточное потребление воды (2 л/сут); EF – частота воздействия (365 дней/год); ED – длительность воздействия (30 лет); BW – масса тела (70 кг); AT – период усреднения (10950 дней для неканцерогенного риска (30 лет × 365) или 25550 дней для канцерогенного риска (70 лет × 365)).

Пожизненная средняя суточная доза (LADD – Lifetime Average Daily Dose) рассчитывается по формуле 2:

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

Оценка неканцерогенного риска (HQ)

Для оценки порогового риска используется коэффициент опасности (HQ) (формула 3):

$$HQ = \frac{ADD}{RfD}, \quad (3)$$

где RfD – референтная доза (мг/кг·сут).

Если $HQ \leq 1$, риск считается допустимым.

Если $HQ > 1$, возможны неблагоприятные воздействия.

Для веществ с доказанными канцерогенными свойствами применяется расчет канцерогенного риска (CR) (формула 4):

$$CR = LADD \times SF, \quad (4)$$

где SF – коэффициент канцерогенности (slope factor), 1/(мг/кг·сут);

$CR \leq 1 \cdot 10^{-6}$ – приемлемый риск;

$1 \cdot 10^{-6} < CR < 1 \cdot 10^{-4}$ – зона контроля;

$CR \geq 1 \cdot 10^{-4}$ – неприемлемый риск.

В случае наличия нескольких веществ рассчитывается совокупный индекс риска (HI) как сумма индивидуальных HQ. Для оценки канцерогенных рисков используется показатель ICR (индивидуального канцерогенного риска), основанный на вероятностной модели линейного безпорогового воздействия. После расчёта индексов бот формирует краткое текстовое заключение с интерпретацией уровня риска: допустимый, условно допустимый или требующий немедленного реагирования.

Результаты. Разработан Telegram-бот, выполняющий анализ риска при вводе концентрации химического вещества. Бот автоматически проводит расчёт показателей HQ, HI или ICR, опираясь на встроенные нормативы. Интерфейс минималисти-

чен, диалог построен в логике экспертного опроса. Пользователь вводит данные, бот возвращает готовый расчёт с пояснением.

Чат-бот «WaterHygiene RiskTool» (рис. 2) представляет собой специализированное Telegram-приложение, разработанное для оперативной гигиенической оценки рисков при потреблении химически загрязнённой питьевой воды. При запуске пользователю выводится приветственное сообщение с указанием основанной на методике Р 2.1.10.3968-23 схемы расчётов и предложением начать работу. Основное меню реализовано с помощью встроенных кнопок «InlineKeyboard», что упрощает навигацию и сводит ввод пользователя к минимуму ошибок.

После подтверждения начала расчётов бот последовательно запрашивает тип вещества (канцерогенное или неканцерогенное), а затем предлагает выбрать конкретный химический элемент или соединение из заранее сформированного списка (нитраты, железо, свинец, кадмий, хром и др.). При необходимости пользователь может получить справочное руководство по методике (PDF-файл) напрямую из бота, что упрощает ознакомление с нормативной базой и повышает доверие к результатам.

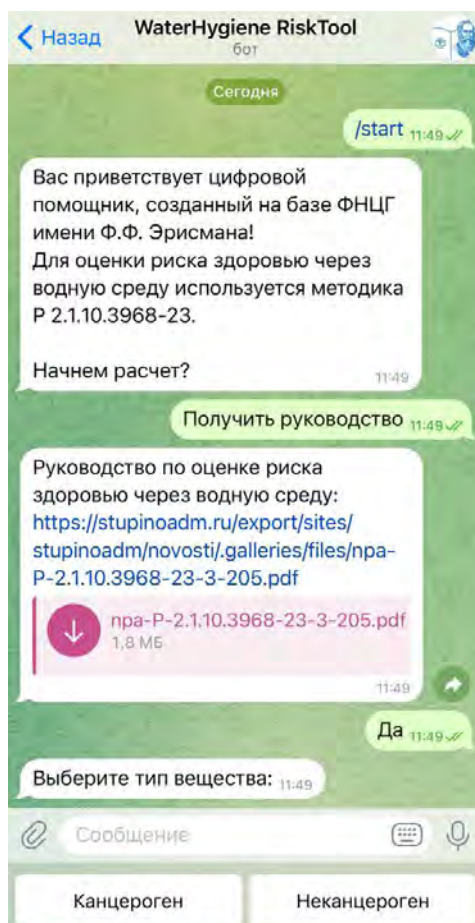


Рис. 2. Рабочее пространство цифрового помощника «WaterHygiene RiskTool» (создано автором)

Далее бот автоматически переходит в режим пакетного добавления веществ: после выбора первого соединения пользователь может последовательно добавлять другие до полного перечня интересующих загрязнителей. Все выбранные вещества отмечаются галочками в меню, что визуальнo информирует об уже учтённых позициях. По окончании формирования списка нажатием кнопки «Рассчитать» запускаются алгоритмы вычисления экспозиционных доз, индексов опасности (HQ), суммарных показателей (HI) и индивидуального канцерогенного риска (ICR).

В основе вычислительного модуля лежит отдельный Python-скрипт, подключённый к локальной базе SQLite, где хранятся актуальные значения ПДК и референтных доз. Этот модуль получает от контроллера состояний массив пользовательских ответов (концентрации веществ, масса тела, объём потребления воды и длительность воздействия) и последовательно рассчитывает необходимую дозу. Затем производится деление на RfD и суммирование по формуле $HI = \sum HQ$, а для канцерогенов – вычисление ICR с учётом коэффициентов канцерогенности.

Результаты выводятся в виде форматированного текста с ключевыми параметрами: наименование вещества, введённые показатели, рассчитанная доза, RfD, значение HQ (и при групповой оценке – HI), а также интерпретация уровня риска («допустимый», «повышенный» или «недопустимый»). Каждый ответ снабжён кратким пояснением, что позволяет даже непрофессионалу понять значение показателей. При выборе справочного режима бот может предоставить ссылки на нормативные документы и публикации (рис. 3).

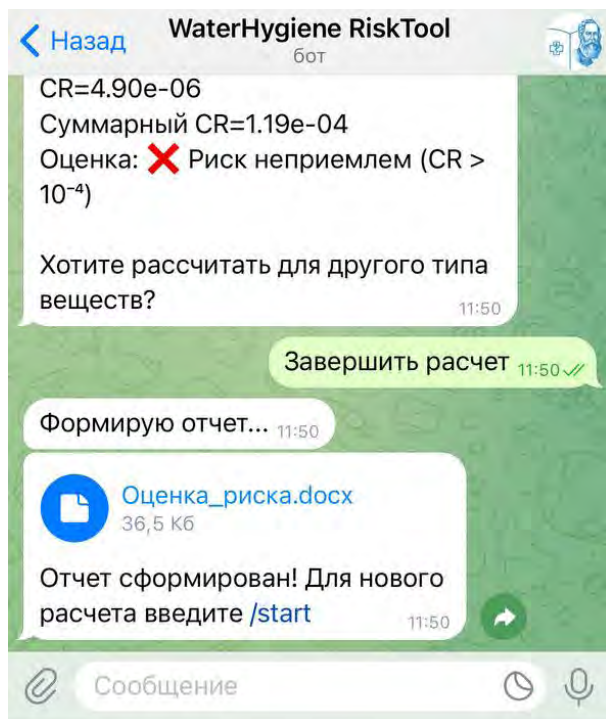


Рис. 3. Рабочее пространство цифрового помощника на этапе формирования отчета и его конвертации в Word (создано автором)

Для повышения надёжности все пользовательские действия и системные события логируются. В случае некорректного ввода бот выдаёт подсказки с пояснением формата данных (например, «введите числовое значение концентрации в мг/л через точку») и предлагает повторить ввод. Администраторская часть предусматривает возможность обновления базы веществ и нормативов без остановки бота – достаточно загрузить обновлённый CSV-файл на сервер.

В перспективе планируется расширить функционал бота за счёт интеграции с API удалённых систем мониторинга качества воды, внедрения модуля прогностического машинного обучения для раннего предупреждения о возможных превышениях и адаптации интерфейса под другие платформы (например, Max и Яндекс Мессенджер) и веб-порталы. Это позволит сделать «WaterHygiene RiskTool» универсальным инструментом не только для Роспотребнадзора, но и для коммунальных служб, НКО и образовательных учреждений.

Уникальность разработки заключается в адаптации экспертных гигиенических методов в цифровой инструмент, доступности (Telegram-бот не требует установки и работает в любом устройстве), применимости для специалистов санитарного контроля, в том числе в полевых условиях.

Чат-бот может быть использован в практической деятельности Роспотребнадзора, в гигиеническом обучении и подготовке специалистов, в мониторинге питьевой воды при чрезвычайных ситуациях.

Заключение. Современные инструменты, такие как программно-аналитические комплексы и чат-боты (в том числе цифровой помощник WaterHygiene RiskTool, разработанный на базе Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана), позволяют проводить расчёты риска в автоматизированном режиме, что существенно снижает вероятность ошибки, ускоряет обработку данных и делает процесс доступным для специалистов санитарных служб и экологов. Такие решения отражают курс на внедрение риск-ориентированного подхода в санитарной охране, соответствующий как российским, так и международным стандартам.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения. *Giardia duodenalis*: Руководство по контролю качества питьевой воды и санитарии. – ВОЗ, ЮНИСЕФ, Всемирный банк. – Женева: ВОЗ, 2025. – 120 с.
2. Сравнительная оценка применимости инструментов пространственного анализа данных для оценки и прогнозирования состояния факторов среды обитания / В.Н. Федоров, Н.А. Тихонова, А.Н. Кизеев, А.В. Киселев // *Здоровье населения и среда обитания* – ЗНиСО. – 2025. – Т. 33, № 5. – С. 17–28.
3. Оценка риска здоровью населения, проживающего на территории влияния космодрома «Восточный», в условиях многофакторной многосредовой экспозиции химических веществ / А.Д. Поляков, М.Ю. Комбарова, А.С. Радилов, Л.А. Аликбаева, И.Ш. Якубова, А.В. Суворова, О.Г. Хурцилава // *Анализ риска здоровью*. – 2024. – №. 2. – С. 63–73.

4. Зайцева Н.В., Землянова М.А. Модификация развития и течения риск-ассоциированных нарушений здоровья в условиях воздействия химических факторов среды обитания // Анализ риска здоровью – 2025. К научному суверенитету России: сборник материалов, посвященный 30-летию образования Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения / под ред. д-ра мед. наук В.Б. Алексеева, д-ра мед. наук, проф., акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2025. – С. 15.

5. Капранов С.В. К вопросу стратегии Российской Федерации в сфере охраны среды жизнедеятельности и защиты здоровья населения // Экологический вестник Донбасса. – 2024. – №. 12. – С. 24–37.

6. Chong K. [et al.]. Exploring practices, challenges, and priorities for human health and ecological risk assessments in Indigenous communities in Canada // Integrated Environmental Assessment and Management. – 2024. – Vol. 2, № 5. – P. 1677–1692.

7. Zhao S. [et al.]. Health risk assessment of heavy metals and disinfection by-products in drinking water in megacities in China: A study based on age groups and Monte Carlo simulations // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2023. – Vol. 262. – P. 115330.

Раздел II

**Современные методы оценки
и управления рисками здоровью
населения, связанными
с воздействием разнородных
факторов среды обитания**

Оценка риска для репродуктивной системы при воздействии агрохимиката, содержащего производное борной кислоты

Н.А. Батенев, О.А. Степанова, К.О. Кузьмин

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»,
г. Мытищи, Россия

Проведена токсиколого-гигиеническая оценка репродуктивной токсичности агрохимиката на основе тетрабората натрия на модели белых крыс. Исследование включало хроническое пероральное введение вещества в дозах 1/10, 1/100 и 1/1000 от средней летальной дозы на протяжении прекоцепционного, гестационного и лактационного периодов. Результаты не выявили статистически значимых отклонений в репродуктивных показателях (фертильность, эмбриональное развитие, постнатальный рост), физическом и нейрофункциональном развитии потомства F1 по сравнению с контролем. Установлено, что изученные дозы не проявляют репродуктивной токсичности, однако подчеркивается необходимость дифференцированной оценки токсикологического профиля различных соединений бора.

Ключевые слова: тетраборат натрия, репродуктивная токсичность, агрохимикаты, токсиколого-гигиеническая оценка, борсодержащие соединения.

Тетраборат натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), коммерчески известный как бура, представляет собой химическое соединение, нашедшее широкое применение в промышленных и бытовых сферах, включая машиностроение, металлургию и фармацевтическую отрасль. Однако, несмотря на его повсеместное использование, современные исследования указывают на потенциальное негативное влияние данного соединения на репродуктивную функцию биологических организмов¹.

Следует отметить, что тетраборат натрия характеризуется относительно высоким значением средней летальной дозы (ЛД₅₀) при остром пероральном поступлении. Тем не менее анализ литературных данных свидетельствует о существенных различиях в токсикологических характеристиках различных соединений бора, что обусловлено их различной способностью к диссоциации с образованием борной кислоты *in vivo* [1, 2].

Цель работы – провести токсиколого-гигиеническую оценку репродуктивной токсичности нового агрохимиката, содержащего компонент, обладающий репродуктивной токсичностью (тетраборат натрия), и установить уровни недействующих доз для родителей и потомства.

Материалы и методы. Исследование по изучению репродуктивной токсичности проводилось в ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора на одном поколении животных (белые беспородные крысы обоего пола). Всего было отобрано

¹ Проект документа поддержки комитета государств-членов для идентификации диатриевого тетрабората безводного как вещества, вызывающего очень большую озабоченность из-за его свойств CMR. Принят 9 июня 2010 года. Echa.europa.eu.

100 особей родительского поколения (40 самцов и 60 самок). Перед началом исследования определяли параметры острой пероральной токсичности для животных каждого пола. Каждая подопытная группа состояла из 25 животных (15 самок и 10 самцов). Дозы, необходимые для определения репродуктивной токсичности, были подобраны в соответствии с общепринятыми методами исследований [3]. Исследуемое вещество в дозах 1/10, 1/100 и 1/1000 от ЛД₅₀ животные получали с кормом 5 раз в неделю. Животные контрольной группы получали растительное масло в эквивалентном объеме. Крысы-самцы родительского поколения получали указанные дозы в течение 2 месяцев до спаривания, самки – в течение 1 месяца до спаривания. После окончания периода экспозиции самок подсаживали к соответствующей группе самцов сроком на 2 эстральных цикла (15 дней). Введение вещества осуществляли в течение периода спаривания и беременности. В динамике опыта проводилось наблюдение за состоянием и поведением животных, потреблением воды и пищи, фиксировали сроки гибели. У самок, оставленных до родов, регистрировали следующие показатели: количество живых и мертворожденных плодов, гибель потомства в период вскармливания, нарастание массы тела в динамике на 4-й, 7-й, 14-й, 21-й, 30-й дни после рождения, соотношение полов (самцы/самки), количество родившихся и количество выживших потомков, общее количество потомков в поколении F1.

Кроме того, проводилось наблюдение за физическим развитием потомства в период вскармливания. Фиксировались следующие физиологические показатели: день отлипания ушной раковины, появление волосяного покрова, прорезывание резцов, открытие глаз, переход к самостоятельному питанию.

Функциональное состояние организма потомства животных F1 поколения оценивали по достижению ими 30-дневного возраста.

Оценка состояния нервной системы определялась по способности животных суммировать подпороговые импульсы (суммационно-пороговый показатель, СПП, в вольтах) с помощью импульсного стимулятора.

Изучение поведенческих реакций (двигательная активность, длина пройденного пути, время отдыха, норковый рефлекс, ориентировочная реакция) проводили на совмещенной установке «открытого поля» и «открытой площадки» с автоматической регистрацией поведения крыс (прибор ОРТО-МАКС «Columbus Instuments», США).

Результаты и обсуждение. На протяжении всего периода введения агрохимиката в дозах 1/10; 1/100 и 1/1000 от ЛД₅₀ F0 родительского поколения гибели животных не отмечалось ни в одной из изучаемых групп. Анализ массы тела подопытных крыс-самок и самцов поколения F0 в динамике опыта показал отсутствие статистически достоверных изменений массы тела животных по сравнению с контролем. Определение массы тела крысят поколения F1 в динамике опыта показало отсутствие достоверных изменений данного показателя по сравнению с контролем на всем протяжении эксперимента. Результаты определения индекса гибели крысят при рождении и в течение первого месяца жизни, а также данные по изучению физического развития крысят поколения F1 не показали статистически значимых изменений. Сроки отлипания ушной раковины, появления первичного волосяного покрова, прорезывания резцов, открытия глаз, перехода к самостоятельному питанию были идентичны в пометах подопытных и контрольной групп в поколении F1. Изучение поведенческих реакций и суммационно-порогового показателя (СПП) также не выя-

вило статистически значимых изменений у животных поколения F1 во всех изучаемых группах по сравнению с контролем.

Выводы. Результаты проведенного исследования свидетельствуют об отсутствии репродуктотоксических эффектов тестируемого агрохимического препарата при использовании в изученных концентрациях, что позволяет рассматривать его как потенциально применимый в сельскохозяйственной практике. Однако, принимая во внимание значительные различия в токсикологических свойствах различных форм боратов натрия, требуется особо строгий подход к гигиенической оценке всех химических продуктов, содержащих этот компонент, независимо от его количественного содержания.

Список литературы

1. Бердалинова А.К., Умбетов Т.Ж., Комекбай Ж.Е. Морфология печени при хронической интоксикации организма тетраборатом натрия // Наука и здравоохранение. – 2015. – № 3. – С. 89–97.
2. Hubbard S.A. Comparative toxicology of borates // Biol Trace Elem Res. – 1998. – Vol. 66 (1-3). – P. 343–357. DOI: 10.1007/BF02783147
3. ГОСТ 32378-2013. Методы испытания по воздействию химической продукции на организм человека. Испытания по оценке репродуктивной токсичности одного поколения [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108397?section=text> (дата обращения: 12.06.2025).

Основные лабораторные и функциональные маркеры кардиологического статуса работников химического предприятия в условиях сочетанного воздействия производственных и непроизводственных факторов риска

О.Ю. Горбушина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

У работников химических предприятий сохраняется высокий риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы, на формирование которого оказывает влияние комплекс непроизводственных и производственных факторов. С целью изучения основных ранних показателей патологии сердечно-сосудистой системы у работников химического предприятия, подвергающихся сочетанному воздействию вредных производственных и непроизводственных факторов, было обследовано 245 работников, осуществляющих

трудовую деятельность на химическом предприятии, производящем аммиак и карбамид. Группу наблюдения составили 167 работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, группу сравнения – 78 административных работников без воздействия вредных производственных факторов. В ходе расширенного обследования у работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов, определены ранние лабораторные и функциональные диагностические показатели патологии сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: маркеры, кардиологический статус, химическое предприятие, производственные факторы, непроизводственные факторы.

Химическая промышленность является одной из ведущих отраслей экономики и составляет около 15 % российского производственного сектора. Несмотря на сложную экономическую обстановку, по данным Росстата, в 2024 г. наблюдался рост объема производства в отрасли на 2,5 %. Активное внедрение инновационных технологий не исключает воздействия производственных факторов на работников предприятий химической промышленности.

У работников химических предприятий сохраняется высокий риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС). На формирование и прогрессирование сердечно-сосудистой патологии существенное неблагоприятное влияние оказывают как непроизводственные факторы риска (пол, возраст, наследственность, поведенческие и биологические факторы), так и комплекс социально-экономических, экологических и производственных факторов. Среди производственных факторов выделяют физические (вибрация, шум, нарушение температурного режима), эргономические (гиподинамия и монотонный труд, физическое перенапряжение), химические, биологические, стрессовые и т.д. [1, 2]. Сочетание производственных физических факторов с химическими факторами усиливает негативное воздействие на функционирование ССС [3–5]. Известно, что длительное поступление химического фактора в организм работника способствует прогрессированию функциональных изменений с последующим формированием патологии ССС [6]. Несмотря на имеющийся научный интерес к химическим веществам азотной группы (карбамид, аммиак), образующимся в результате производственных процессов, их влияние на здоровье работников изучено недостаточно [7, 8].

Цель исследования – определить основные ранние показатели патологии сердечно-сосудистой системы у работников химического предприятия, подвергающихся сочетанному воздействию производственных и непроизводственных факторов.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели было обследовано 245 работников в возрасте 20–65 лет, осуществляющих трудовую деятельность на химическом предприятии, производящем аммиак и карбамид.

Группа наблюдения состояла из 167 работников, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов (100 человек в возрасте до 45 лет; 67 – в возрасте старше 45 лет), из них 84,4 % мужчин (141) и 15,57 % женщин (26). Группу сравнения составили 78 административных работников без воздействия производственных факторов. Группы были сопоставимы по полу и возрасту. Производственными факторами, оказывающими влияние на работников группы наблюдения, были: химический фактор, пыль, шум.

Разработанная программа обследования направлена на идентификацию сердечно-сосудистой патологии, обусловленной действием производственных и непроизводственных факторов у обследуемого контингента работников. Лабораторная диагностика включала общеклинические, расширенные биохимические и иммуноферментные исследования. Инструментальные методы исследования, оценивающие функциональное состояние сердечно-сосудистой системы, включали кардиоинтервалографию (КИГ), сфигмоманометрию (СФММ), эхокардиографическое исследование (ЭХО-КГ), ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий (УЗДГ БЦА), исследование эндотелий зависимой вазодилатации плечевой артерии (ЭЗВД).

Клинико-функциональное и лабораторное обследование выполнено в соответствии с правилами ICHGCP, с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации (редакция 2013 г.), Национальным стандартом РФ ГОСТ-Р 52379-2005 «Надлежащая клиническая практика» (ICH E6 GCP). От работников получено предварительное добровольное информированное согласие.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась при помощи пакета Statistica 10.0 с приложениями MS-Office и программных продуктов, разработанных ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с применением методов параметрической и непараметрической статистики. Статистическая значимость принималась при $p < 0,05$. Оценка связи производственных факторов с изменениями в организме работников проводилась с помощью определения «отношения шансов» (OR), «относительного риска» (RR) и этиологической доли ответов, обусловленной воздействием фактора профессионального риска (EF). Статистически достоверной зависимость считалась при величине доверительного интервала CI > 1 .

Результаты. В ходе проведенного расширенного обследования работников химического предприятия, подвергающихся воздействию комплекса производственных и непроизводственных факторов, были получены показатели, характеризующие ранние патологические лабораторно-функциональные изменения состояния ССС.

Ранними лабораторными маркерами сердечно-сосудистого риска у обследуемых работников химического предприятия были определены:

- повышение соотношения Апо В100/Апо А1 (связь с воздействием шума $F = 120,97$, $R^2 = 0,77$, $p < 0,00001$; с взвешенными веществами $F = 353,11$, $R^2 = 0,89$, $p < 0,00001$);

- повышение аполипопротеина А1 (связь с $PM_{10}F = 54,15$, $R^2 = 0,55$, $p < 0,00001$, с $PM_{2,5}F = 45,13$, $R^2 = 0,50$, $p < 0,00001$, с $PM_4F = 12,85$; $R^2 = 0,22$, $p = 0,0028$);

- повышение уровня в крови холестерина (ХС) общего, триглицеридов, ХС ЛПОНП, индекса атерогенности (связь с N-нитрозодиметиламина ($R^2 = 0,203–0,792$, $p < 0,05$);

- снижение уровня ЛПВП в сыворотке крови (связь с содержанием нитратов в моче ($R^2 = 0,0320$, $p = 0,009$);

- снижение антиоксидантной активности и повышение малонового диальдегида (связь с воздействием шума $F = 12,11$, $R^2 = 0,21$, $p = 0,0028$, с аммиаком $F = 179,64$, $R^2 = 0,79$, $p < 0,00001$, с взвешенными веществами $F = 173,02$, $R^2 = 0,78$, $p < 0,00001$,

$PM_1F = 43,75$, $R_2 = 0,50$, $p < 0,00001$, с $PM_{10}F = 250,04$, $R_2 = 0,85$, $p < 0,00001$, с $PM_{2,5}F = 354,078$, $R_2 = 0,89$, $p < 0,00001$, с $PM_4F = 159,89$, $R_2 = 0,78$, $p < 0,00001$);

– повышение показателей фагоцитарной активности нейтрофилов (абсолютный фагоцитоз, относительный фагоцитоз, фагоцитарное число, фагоцитарный индекс) (связь с нитритами, нитратами в моче $R_2 = 0,131–0,803$, $p < 0,05$, с $PM_{2,5}F = 6,09$, $R_2 = 0,12$, $p = 0,018$, с $PM_{10}F = 6,73$, $R_2 = 0,13$, $p = 0,014$, с оксидом углерода $F = 26,51$, $R_2 = 0,38$, $p = 0,00001$, с взвешенными веществами $F = 18,08$, $R_2 = 0,27$, $p = 0,0004$, с аммиаком $F = 11,55$, $R_2 = 0,20$, $p = 0,0028$);

– снижение цитотоксических лимфоцитов CD8+ (связь с концентрацией нитратов в моче $R_2 = 0,778$, $p < 0,05$);

– повышение уровня γ -глобулина и активности цитолитического процесса в печени (повышение γ -ГТ, АЛАТ и АСАТ) с инициацией синдрома холестаза (повышение уровня общего билирубина в сыворотке крови) (связь с повышенным содержанием в моче нитритов и нитратов ($R_2 = 0,026–0,637$, $p < 0,05$)).

Выделены *функциональные диагностические маркеры*, характеризующие ранние изменения ССС у работников химического предприятия (таблица).

Основные функциональные диагностические показатели патологии сердечно-сосудистой системы у работников химического предприятия

Метод исследования	Показатели
Сфигмоманометрия	- повышение амплификации пульсового давления (ППА), мм. рт. ст., повышение каротидно-фemorальной скорости пульсовой волны (ассоциировано с воздействием $PM_{2,5}$ – PM_{10} ($R_2 = 0,50–0,88$; $p = 0,00001$), оксида углерода ($R_2 = 0,87$; $p = 0,00001$))
	- повышение плечевого индекса аугментации (связь с шумом ($R_2 = 0,10–0,22$; $p = 0,003–0,03$), аммиаком ($R_2 = 0,80$; $p = 0,00001$), взвешенными веществами ($R_2 = 0,18$; $p = 0,003$), PM_{1-10} ($R_2 = 0,50–0,61$; $p = 0,00001$))
	- повышение значения лодыжечно-плечевого индекса (связано с воздействием производственного шума ($R_2 = 0,49$; $p = 0,00001$), PM_4 ($R_2 = 0,87$; $p = 0,00001$))
Вариационная пульсометрия	повышение индекса напряжения (связь с PM_1 ($F = 16,79$, $R_2 = 0,28$, $p = 0,00039$), с PM_{10} ($F = 7,15$, $R_2 = 0,14$, $p = 0,01119$), с $PM_{2,5}$ ($F = 4,76$, $R_2 = 0,10$, $p = 0,04$), с PM_4 ($F = 7,44$, $R_2 = 0,14$, $p = 0,01119$))
Эхокардиографическое исследование	- диастолическая дисфункция: увеличение IVRT правого желудочка (ассоциировалось с уровнем производственного шума ($R_2 = 0,28–0,63$; $p < 0,00001–0,00035$), увеличением концентрации в воздухе оксида углерода ($R_2 = 0,86$; $p < 0,00001$); - увеличение МРІ левого желудочка, МРІ правого желудочка (связь с воздействием производственного шума ($R_2 = 0,15–0,34$; $p = 0,00001–0,01$), с концентрацией в воздухе рабочей зоны взвешенных веществ ($R_2 = 0,22–0,84$; $p < 0,00001–0,0028$), PM_{1-10} ($R_2 = 0,42–0,88$; $p < 0,00001$))
Ультразвуковое исследование брахицефальных артерий	утолщение КИМ более 0,9 мм

Вывод. Таким образом, полученные результаты позволяют оценивать ранние доклинические изменения состояния сердечно-сосудистой системы у работников химического предприятия, подвергающихся сочетанному воздействию производственных и производственных факторов. Исследование и выявление новых маркеров поражения сердечно-сосудистой системы позволят разрабатывать целевые программы диагностики и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний у работников вредных производств, тем самым увеличивать период трудовой деятельности коллективов предприятий.

Список литературы

1. Производственные и генетические факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний для работников нефтехимических производств / З.Ф. Гимаева, А.Б. Бакиров, Г.Г. Гимранова, Л.К. Каримова, Г.Ф. Мухаммадиева, Д.О. Каримов // Терапевтический архив. – 2018. – Т. 90, № 1. – С. 49–53.
2. Давыдова Е.В., Дзюба Ю.М. Особенности распространения факторов риска хронических неинфекционных заболеваний у работников вредных производств в зависимости от уровня производственной вибрации [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 6. – URL: <https://science.education.ru/article/view?id=31300> (дата обращения: 10.09.2024).
3. Федина И.Н., Серебряков П.В., Смолякова И.В. Оценка риска развития артериальной гипертензии в условиях воздействия шумового и химического факторов производства // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 2. – С. 21–25.
4. Эхокардиографические особенности у работников титано-магниевого производства, подвергающихся воздействию вредных производственных факторов / А.А. Воробьева, Е.М. Власова, И.В. Лешкова, Т.А. Пономарева // Кардиологический вестник. – 2023. – Т. 18, № 2–2. – С. 189.
5. Дубовая А.В. Влияние химических элементов на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы (обзор литературы) // Мать и дитя в Кузбассе. – № 4 (67). – 2016. – С. 11–13.
6. Stockmann-Juvala H. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals // Arbete och Hälsa. – 2012. – Vol. 46 (7). – P. 78.
7. Помыткина Т.Е. Состояние здоровья работников при производстве соединений азотной группы (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2014. – № 3. – С. 39–45.
8. Влияние угольно-породной пыли на риск развития морфологических нарушений сердечно-сосудистой системы / М.С. Бугаева, Л.Г. Горохова, О.И. Бондарев, Н.Н. Михайлова // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – 6. – С. 415–420. DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-6-415-420

К вопросу установления критериев безопасности новых видов пищевых продуктов при их вовлечении в оборот на территории России

С.Е. Зеленкин, Д.В. Суворов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В работе исследуются критерии безопасности пищевых продуктов нового вида в контексте глобальных продовольственных вызовов. Проанализированы подходы стран ЕС, ЕАЭС, США и азиатских стран к определению «пищевые продукты нового вида». Установлено, что базовым критерием является отсутствие неприемлемого риска, оцениваемого через допустимое суточное потребление для аминокислот, референтные дозы для химических контаминантов и минимальные инфицирующие дозы для биологических агентов. Выявлен пробел в регулировании аллергенных рисков. Предложено использовать расчетные приемлемые уровни риска для внедрения продукции и пострегистрационного мониторинга. Обоснована необходимость разработки критериев оценки аллергенного потенциала.

Ключевые слова: пищевые продукты нового вида, потенциальные опасности, оценка риска, химическое загрязнение, биологические агенты, аллергические реакции.

В настоящее время вопрос использования пищевых продуктов нового типа приобретает всё большую актуальность в качестве альтернативного или дополнительного источника питания. Это связано с растущими вызовами, такими как глобальные изменения климата, сокращение пригодных для сельского хозяйства земель из-за урбанизации, а также изменения структуры сельскохозяйственного производства в сторону выращивания ресурсоемких культур [1]. Совокупное воздействие этих факторов ставит под угрозу глобальную продовольственную безопасность, что делает переход к устойчивым пищевым системам не просто вариантом развития, а насущной необходимостью.

Для правового регулирования подобных инноваций в законодательной базе ряда стран мира были закреплены термины «пищевая продукция нового вида» и равнозначный ему «новая пища». Так, в соответствии с законодательством Европейского союза, к новой пище относится недавно разработанная, инновационная пища; пища, произведенная с использованием новых технологий и производственных процессов, а также пища, которую традиционно употребляют или употребляли за пределами Европейского союза (ЕС). Кроме того, к новой пище относятся пищевые продукты, которые не потреблялись значительной частью населения стран ЕС до 15 мая 1997 г. [2].

Аналогичные правовые категории существуют и в других странах мира, хотя их определения могут варьироваться. Так, определение «новая пища» встречается в законодательстве Сингапура (novel food; пищевые продукты или отдельные ингредиенты, опыт потребления которых в течение последних 20 лет отсутствует) [3], Австра-

лии и Новой Зеландии (novel food; нетрадиционные пищевые продукты, требующие оценки с точки зрения безопасности для потребителей) [4]. В Китае вместо термина «новая пища» используется «новое пищевое сырье» (new food raw materials) [5], в то время как в США четкого определения «новая пища» или «пищевые продукты нового вида» не существует. В нормативно-правовом поле Российской Федерации и стран Евразийского Экономического Союза (ЕАЭС) установлено следующее определение: пищевые продукты нового вида – это продукты, которые не использовались для питания человека на таможенной территории ЕАЭС ранее, подразделяющиеся на следующие категории: имеющие новую или преднамеренно измененную первичную молекулярную структуру; состоящие из микроорганизмов, микроскопических грибов, водорослей или выделенные из них; выделенные из растений и / или животных; полученные с использованием генно-модифицированных организмов (ГМО); наноматериалы и продукты, созданные с применением нанотехнологий [6]. С точки зрения современных научных трендов и потенциала для обеспечения продовольственной безопасности можно выделить три наиболее перспективные категории подобной продукции:

1. Продукция на основе белка насекомых (энтомопротеина). Данное направление активно пропагандируется ФАО/ВОЗ в рамках программ, направленных на поиск устойчивых источников белка, начиная с 2010-х годов [7]. Закономерным результатом данной деятельности стала официальная регистрация в Европейском союзе таких видов пищевого сырья, как мука из домашнего сверчка (*Acheta domesticus*) [8].

2. Синтетические (как правило, клеточные) пищевые продукты. К данной категории относится продукция, полученная *in vitro* с применением методов биотехнологии, наиболее ярким примером которой является культивируемое мясо. Его производство апробировано для реализации на рынке в ряде стран, в частности, в Сингапуре [9].

3. Продукты, полученные с применением методов генной инженерии. Речь идет о пище животного происхождения, при производстве которой были использованы генно-модифицированные организмы (ГМО) в качестве основного или вспомогательного компонента [10].

Потенциальное внедрение в оборот новых видов пищевых продуктов и ингредиентов в результате ускоряющихся темпов развития науки, техники и торговли, в частности, на территории Российской Федерации, требует от регулирующих органов использования упреждающего подхода к оценке их безопасности [11]. При этом следует учитывать не только потенциальную пользу, но и риски для здоровья потребителей, которые могут включать биологические опасности (например, контаминацию микроорганизмами родов *Listeria*, *Escherichia*, *Salmonella* и др.), химические контаминанты (тяжелые металлы, токсины, остаточные количества ветеринарных препаратов), способность вызывать аллергические реакции [12], а также риск избыточного поступления незаменимых аминокислот как с отдельным продуктом, так и с общим рационом питания, что может привести к негативным последствиям для здоровья потребителя [13].

Ключевой проблемой на современном этапе является отсутствие в унифицированном реестре ЕАЭС утвержденных пищевых продуктов нового вида (в частности, полученных с использованием насекомых) [14]. В связи с выявленными потенциальными рисками и указанным нормативным пробелом представляется научно

обоснованным и целесообразным проведение комплексного анализа и разработки критериев безопасности для данной категории продуктов при их внедрении в оборот и пострегистрационном мониторинге на территории Российской Федерации. Данная работа должна базироваться на существующих требованиях к «традиционным» продуктам, но при этом учитывать актуальный международный опыт нормативного регулирования, методы оценки риска и современные данные доказательной токсикологии и нутрициологии.

Цель работы – провести анализ существующих критериев безопасности пищевых продуктов нового вида при их реализации и внедрении в продовольственный оборот на территории России.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был проведен систематический обзор научной литературы и нормативно-правовых документов. Поиск релевантных источников осуществлялся в реферативных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, а также в базах российских научных публикаций eLibrary.ru и КиберЛенинка. Дополнительно анализировались документы международных организаций и официальные интернет-ресурсы регулирующих органов.

Для формирования поисковых запросов использовались ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках, включая термины «novel food», «new food» «пищевые продукты нового вида», «новая пища», «безопасность пищевой продукции», «food safety», «risk assessment», «оценка риска», «регулирование», «food legislation». Для повышения точности поиска применялись логические операторы AND, OR, NOT, а также кавычки для поиска точных фраз и скобки для группировки запросов. Критериями включения источников являлись публикации за период 2003–2024 гг., соответствующие цели исследования, оригинальные научные статьи, обзоры, мета-анализы, официальные руководства и регламентирующие документы. Критериями исключения служили дублирующиеся публикации, материалы конференций без рецензирования, публикации без peer-review, а также источники, недоступные для полнотекстового анализа или имеющие сомнительную научную ценность.

Отобранные источники систематизировались по тематическим блокам, включающим нормативно-правовую базу, критерии и показатели безопасности, идентифицированные потенциальные опасности и международный опыт оценки риска. Анализ информации проводился методами сравнительно-правового анализа, категоризации и синтеза полученных данных.

Результаты исследования. основополагающим требованием безопасности пищевых продуктов, включая продукты нового вида, в соответствии с действующими нормативно-правовыми документами является отсутствие недопустимого риска для здоровья потребителей при их включении в рацион питания [6].

Разработка критериев приемлемого риска для пищевых продуктов нового вида требует применения методологии оценки риска, адаптированной к специфике потенциально опасных факторов. Особого внимания заслуживает оценка безопасности изменений аминокислотного состава рациона, обусловленная введением новых источников белка [14–16].

Для каждой незаменимой аминокислоты установлены уровни безусловно безопасного (NOAEL – No Observed Adverse Effect Level) и минимально токсического (LOAEL – Lowest Observed Adverse Effect Level) потребления, которые служат отправной точкой для определения допустимого суточного поступления

(ADI – Acceptable Daily Intake). При этом учитывается тропность избыточных количеств аминокислот к критическим органам и системам [17–23].

Оценка опасности избыточного поступления незаменимых аминокислот включает расчет количества неусвоенных аминокислот из рациона питания с учетом биодоступности [24, 25]. Установленная величина ADI может использоваться в качестве референтной дозы для полуколичественной оценки риска [26, 27].

В контексте факторов потенциальной опасности химической природы, в условиях отсутствия утвержденных гигиенических нормативов для пищевых продуктов нового вида, в качестве критерия безопасности целесообразно рассматривать уровень содержания химических веществ, обеспечивающий приемлемый (допустимый) уровень риска для здоровья населения.

В соответствии с современными принципами оценки риска, количественное выражение приемлемого уровня риска соответствует величине $1 \cdot 10^{-5}$, что интерпретируется как один дополнительный случай преждевременной смерти или развития заболевания на 100 000 экспонированных лиц. При полуколичественной оценке приемлемый риск выражается через коэффициент опасности (HQ), а при комбинированном воздействии факторов с однонаправленным механизмом действия – через индекс опасности (HI). Согласно методологическим рекомендациям, безопасному уровню соответствуют значения $HQ \leq 1,0$ и $HI \leq 3,0$ (при условии, что каждый из компонентов индекса не превышает единицы) [28].

Аналогично факторам химической природы, критерием безопасности содержания биологических агентов в пищевых продуктах нового вида выступает отсутствие недопустимого микробиологического риска. Оценка данного риска осуществляется с учетом комплекса параметров, включая патогенный потенциал (вирулентность) микроорганизмов, тяжесть вызываемых заболеваний, частоту и вероятность контаминации пищевого продукта, вероятность развития заболевания у экспонированной популяции, а также минимальную инфицирующую дозу (МИД) патогена. На основании анализа указанных показателей проводится расчет категорий микробиологического риска (RI_{cat}), где приемлемым считается риск, соответствующий категориям от 1 до 3 по установленной шкале [29]. Данный подход позволяет количественно обосновать безопасность продукции в отношении биологических агентов и разработать адекватные меры управления рисками.

Согласно международным нормативным документам, дополнительным критерием безопасности новых видов пищевых продуктов может являться документально подтвержденный опыт его безопасного потребления в стране-изготовителе и в третьих странах. В частности, Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) признает в качестве доказательства безопасности 25-летний опыт потребления в стране происхождения продукта [30], в то время как другие юрисдикции устанавливают иные временные рамки. Например, Сингапурское агентство по пищевой безопасности допускает использование 20-летнего периода безопасного потребления в качестве критерия оценки [31]. Под безопасным опытом потребления понимается отсутствие документально зафиксированных случаев негативных последствий для здоровья, включая развитие аллергических реакций как за счет перекрестной реактивности, так и в результате воздействия новых, ранее не идентифицированных аллергенов.

Вместе с тем современный уровень научных знаний свидетельствует о необходимости разработки количественных параметров оценки безопасности пищевых продуктов в отношении развития аллергических реакций. В частности, требуют научного обоснования методики расчета безопасных доз белка, не вызывающих сенсибилизацию и аллергические реакции у потребителей [32]. В условиях отсутствия унифицированных критериев оценки аллергенного потенциала наиболее эффективными мерами управления риском признаются: полный отказ от потребления продукции группами риска и обеспечение исчерпывающей информации о наличии аллергенов, включая перекрестно-реагирующие компоненты, на потребительской упаковке пищевых продуктов [33]. Перспективным направлением исследований является разработка пороговых значений аллергенов и валидация методов детекции для целей регулирования.

Заключение. Проведенное исследование позволило установить, что базовым критерием безопасности пищевых продуктов нового вида, включая риски, связанные с изменением аминокислотного состава, присутствием химических контаминантов и биологических агентов, является отсутствие неприемлемого риска для здоровья потребителей. В области оценки рисков изменения аминокислотного состава рациона обоснована целесообразность использования в качестве ключевого параметра величины допустимого суточного потребления конкретной незаменимой аминокислоты, при этом расчет риска должен осуществляться для неусвоенного количества аминокислоты с учетом показателей ее биодоступности. Для оценки рисков химической природы рекомендовано применение референтных доз, в то время как для биологических агентов целесообразно использование минимальных инфицирующих доз.

Вместе с тем методология оценки рисков формирования аллергических реакций на продукты нового вида, а также система мер по управлению такими рисками требуют дальнейшей разработки. На современном этапе наиболее эффективными мерами управления признаются: полный отказ от потребления продукции группами риска и обеспечение исчерпывающей информации о наличии аллергенов, включая перекрестно-реагирующие компоненты, на потребительской упаковке пищевых продуктов.

Список литературы

1. Consumer Response to Novel Foods: A Review of Behavioral Barriers and Drivers / C. Günden, P. Atakan, M. Yercan, K. Mattas, M. Knez // Foods. – 2024. – № 13. DOI: 10.3390/foods13132051
2. Novel food. European Commission [Электронный ресурс]. – URL: https://food.ec.europa.eu/food-safety/novel-food_en (дата обращения: 05.08.2025).
3. Overview of Novel Food Regulatory Framework. Singapore Food Agency [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sfa.gov.sg/regulatory-standards-frameworks-guidelines/novel-food-framework/overview-of-novel-food-regulatory-framework> (дата обращения: 09.08.2025).
4. Australia New Zealand Food Standards Code – Standard 1.5.1 – Novel foods [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.legislation.gov.au/F2015L00403/latest/text> (дата обращения: 06.08.2025).
5. China-Approval List of New Food Raw Materials (Novel Food) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chinafooddb.com/en/directory-detail/cs buc5ddb kzk> (дата обращения: 09.08.2025).

6. ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции: Технический Регламент Таможенного союза [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 02.08.2025).
7. Edible insects: future prospects for food and feed security / A. van Huis, J. Van Itterbeeck, H. Klunder, E. Mertens, A. Halloran, G. Muir, P. Vantomme. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. – 201 с.
8. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/5 of 3 January 2023 authorising the placing on the market of *Acheta domesticus* (house cricket) partially defatted powder as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470 // Official Journal of the European Union. – 2023. – P. 2/9–2/15.
9. Safety of Alternative Protein. Singapore food agency [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein> (дата обращения: 02.08.2025).
10. Faccio E., Fovino L.G.N. Food Neophobia or Distrust of Novelties? Exploring Consumers' Attitudes toward GMOs, Insects and Cultured Meat // Applied Sciences. – 2019. – Т. 9, №. 20. – С. 4440. DOI: 10.3390/app9204440
11. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения / Н.В. Зайцева, Г.Г. Онищенко, И.В. Май, П.З. Шур // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 3. – С. 4–20. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.01
12. Addressing the safety of new food sources and production systems / Y.Q. Tan, H.C. Ong, A. M. H. Yong, V. Fattori, K. Mukherjee // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2024. – № 23. – P. e13341. DOI: 10.1111/1541-4337.13341
13. Garlick P.J. The Nature of Human Hazards Associated with Excessive Intake of Amino Acids // J. Nutr. – 2004. – Vol. 134. – P. 1633–1639.
14. Тышко Н.В., Тимошенко К.А., Шумакова А.А. Изучение гигиенических показателей сырья нового вида, полученного с использованием съедобных насекомых // Эрисмановские чтения – 2024. Новое в нутрициологии и гигиене питания для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: материалы II Всероссийского научного конгресса с международным участием (Мытищи, 21–22 ноября 2024 года) / под ред. д. м. н., проф. А.Ю. Поповой, д. м. н., проф. С.В. Кузьмина. – Мытищи: ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 2024. – С. 126–128.
15. Branched Chain Amino Acids Cause Liver Injury in Obese/Diabetic Mice by Promoting Adipocyte Lipolysis and Inhibiting Hepatic Autophagy / Fuyang Zhang, Shihao Zhao, Wenjun Yan, Yunlong Xia, Xiyao Chen [et al.] // EBioMedicine. – 2016. – Vol. 13. – P. 157–167. DOI: 10.1016/j.ebiom.2016.10.013
16. Racusen L.C., Whelton A., Solez K. Effects of Lysine and Other Amino Acids on Kidney Structure and Function in the Rat // The American journal of pathology. – 1985. – Vol. 120, № 3. – P. 436–442.
17. Safety of Amino Acids. International Amino Acid Science Association (ICAAS) [Электронный ресурс]. – URL: https://icaas-npo.org/english/contents_en/safety_amino.html (дата обращения: 08.08.2025).
18. Thirteen-week oral toxicity study of branched-chain amino acids in rats / S.;Tsubuku, K. Hatayama, T. Katsumata, N. Nishimura, K. Mawatari, M. Smriga, T. Kimura // Int J Toxicol. – 2004. – № 23. – P. 119–126.

19. Thirteen-Week Oral Toxicity Study of L-Lysine Hydrochloride in Rats / S. Tsubuku, M. Mochizuki, K. Mawatari, M. Smriga, T. Kimura // *International Journal of Toxicology*. – 2004. – № 23. – P. 113–118. DOI: 10.1080/10915810490444415
20. A 4-week toxicity study of methionine in male rats / K. Chin, S. Toue, Y. Kawamata, A. Watanabe, T. Miwa, M. Smriga, R. Sakai // *Int J Toxicol*. – 2015. – Vol. 34, № 3. – P. 233–241.
21. Subchronic Tolerance Trials of Graded Oral Supplementation with Phenylalanine or Serine in Healthy Adults / N. Miura, H. Matsumoto, L. Cynober, P.J. Stover, R. Elango, M. Kadowaki, D.M. Bier, M. Smriga // *Nutrients*. – 2021. – № 13. DOI: 10.3390/nu13061976
22. A 13-week feeding toxicity study of L-threonine in rats with a recovery period of 5 weeks / M. Aoki, S. Ishida, H. Fukuzumi, K. Morishita // *Fundamental Toxicological Sciences*. – 2014. – Vol.1, № 2. – P. 49–62.
23. Thirteen week toxicity study of dietary L-tryptophan in rats with a recovery period of 5 weeks / Y. Shibui, H. Matsumoto, Y. Masuzawa, T. Ohishi, T. Fukuwatari, K. Shibata, R. Sakai // *J Appl Toxicol*. – 2018. – № 38. – P. 552–563.
24. Лупинская С.М., Кузнецова Л.А. Разработка композиции дикорастущего сырья для повышения биологической ценности плавленых сыров // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – Vol. 37, № 2. – С. 22–28.
25. Методические подходы к оценке сбалансированности аминокислот в продуктах питания / А.Я. Перевалов, А.Г. Лебедева, В.В. Радостев, Е.Е. Чедова // *Здоровье семьи-21 век*. – 2018. – №. 2. – С. 81–86.
26. Rodricks J.V. Approaches to Risk Assessment for Macronutrients and Amino Acids // *The Journal of Nutrition*. – 2003. – Vol.133, № 6. – P. 2025–2030. DOI: 10.1093/jn/133.6.2025S
27. Gu M., Wang P., Shi S., Xue J. Dietary Risk Assessment and Ranking of Multipesticides in *Dendrobium officinale* // *Journal of Food Quality*. – 2021. DOI: 10.1155/2021/9916758
28. Р. 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 221 с.
29. Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 44 с.
30. Cheftel J.C. Emerging Risks Related to Food Technology // *Advances in Food Protection*. – 2011. – P. 223–254.
31. Requirements for the Safety Assessment of Novel Foods and Novel Food Ingredients. Singapore Food Agency, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sfa.gov.sg/docs/default-source/regulatory-standards-frameworks-and-guidelines/requirements-for-the-safety-assessment-of-novel-foods-and-novel-food-ingredients_17032025.pdf (дата обращения: 08.08.2025).
32. Allergenicity assessment of new or modified protein-containing food sources and ingredients / R.W.R. Crevel, K. Verhoeckx, K.L. Bøgh, N. Buck, A. Chentouf, S. Flanagan, M. Galano, J.A. Garthoff, S. Hazebrouck, R. Yarham, G. Borja, G. Houben // *Food and Chemical Toxicology*. – 2024. – № 189. DOI: 10.1016/j.fct.2024.114766

33. ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция и части ее маркировки. Технический Регламент Таможенного Союза [Электронный ресурс]. – URL: <https://eesc.eaeunion.org/comission/departement/deptexreg/tr/PischevkaMarkirovka.php> (дата обращения: 04.08.2025).

Общественное восприятие рисков, связанных с изменением климата, в странах БРИКС (на материалах кросс-национального опроса)

М.Д. Корнилицына¹, А.О. Барг²

¹ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,

²ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

Общественное восприятие рисков, связанных с изменением климата, является социально-политическим конструктом, формируемым на основе личного опыта, доверия к социальным институтам и культурного контекста. Анализ кросс-национального опроса населения стран БРИКС показывает, что уровень тревожности и готовности к адаптации может варьироваться, однако повсеместно фиксируется значительная поддержка государственных мер по защите природы и населения: так, от 75 % в Индии до 89 % в Бразилии граждан считают, что страна должна «очень активно» защищать природу, а от 62 % в России до 90 % в Бразилии выступают за усиление защиты от экстремальных погодных явлений». Полученные выводы указывают на необходимость разработки локализованных коммуникационных стратегий.

Ключевые слова: климатические изменения, восприятие риска, общественное мнение, адаптация, страны БРИКС.

Адаптация населения к изменению климата – глобальная проблема, являющаяся универсальной для мирового сообщества [1], однако особенности её проявления локализованы и обусловлены контекстом [2]. Решение задачи требует комплексного подхода, включающего как объективную оценку, так и субъективное восприятие рисков, связанных с климатическими изменениями. И если экспертные мониторинги фиксируют фактическую выраженность состояния окружающей среды, то исследования общественного мнения сталкиваются со множеством неклиматических факторов (экономическими, политическими, социальными и культурными процессами), которые обуславливают перцепции населения [3]. При этом достижение грамотного общественного восприятия климатических изменений остается значимым, что актуализируется как в международном, так и в отечественном законодательстве [4, 5].

Понимание субъективного отношения к проблеме необходимо для разработки стратегий адаптации, минимизирует социальные и институциональные барьеры,

обозначает границы мобилизации и информирования населения. Поскольку восприятие рисков, связанных с изменением климата, формируется не только климатическими особенностями, ожидается, что существуют различия субъективных оценок в странах с разными политическими режимами, уровнями экономического развития и степенью уязвимости к климатическим угрозам. Следовательно, возникает вопрос: как эта дифференциация проявляется в общественном восприятии риска в условиях глобального вызова? Работа направлена на выявление паттернов восприятия рисков, связанных с климатическими изменениями, и их интерпретации населением стран БРИКС.

Методология исследования базируется на данных кросс-национального опроса общественного мнения об изменении климата (2024 г. ООН, Оксфордский университет), которые предварительно были структурированы в таблицу, содержащую частотные распределения ответов респондентов на вопросы о степени обеспокоенности изменением климата, опыте экстремальных погодных явлений, влиянии климата на жизненные решения, заботе о будущих поколениях, приоритетах восстановления природы и мерах защиты населения от климатических рисков. Представленная информация получена от участников опроса из стран БРИКС – Бразилии, России, Индии, Китая, ЮАР, специфика которых детализирована в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Основные политико-экономические характеристики
и климатические риски стран-участников опроса

Страна	Плотность населения на км ²	ВВП на душу населения, долл.	ВВП по ППС, трлн долл.	Основные изменения климата
Бразилия	25,4	8872	4,1	Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Повышение средней температуры и засуха (Амазония)
Россия	8,3	15789	5,1	Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Повышение средней температуры. Деграция вечной мерзлоты
Индия	434,6	2379	13,1	Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Повышение средней температуры. Изменение характера осадков. Таяние ледников. Прибрежная эрозия и повышение уровня моря
Китай	148,5	12623	33,0	Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Повышение средней температуры. Засуха. Увеличение волн жары
ЮАР	49,6	6766	1,0	Увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Повышение средней температуры. Изменение характера осадков

П р и м е ч а н и е : составлено на основе данных 2023 г., взятых из научных статей [6–8]

Так, несмотря на различия в плотности населения и уровне развития экономики, все представленные страны подвержены таким изменениям климата, как рост частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений и повышение средней температуры. Наибольшие климатические риски связаны с засухами, таянием ледников и изменением характеров осадков. При этом страны с высокими значениями ВВП по ППС, такие как Китай и Индия, одновременно имеют высокую плотность населения и значительную уязвимость к последствиям изменения климата.

Указанные характеристики экономического развития и климатические изменения имеют влияние на перцепцию рисков населением. Существуют и иные факторы, обуславливающие субъективные оценки, например: оценка фактической выраженности изменений, осознание значимости изменений, близость проблемы (ощущение воздействия на повседневную жизнь), темпоральные характеристики, скорость и вероятность наступления негативных последствий, влияние антропогенного вклада в состояние окружающей среды [3, 9].

Общественное восприятие рисков – это совокупность оценок и убеждений относительно потенциальных угроз, а также формируемый на основе когнитивных знаний (опыта, осведомленности, культуры и доверия к институтам) способ реагирования на опасности. В рамках настоящей работы описаны следующие факторы особенностей восприятия рисков, связанных с климатическими изменениями: 1) личный опыт и темпоральность восприятия; 2) повседневная жизнь; 3) степень ответственности государства.

Так, личный опыт играет большую роль в формировании восприятия климатических рисков. Данные кросс-национального опроса показывают, что респонденты тех стран, где значительная часть выбирала ухудшение погодных условий (Бразилия – 70 %, ЮАР – 49 %), наблюдается более высокий уровень тревожности последствиями изменения климата (в этих странах чрезвычайно обеспокоены изменениями климата 28 %, а суммарная доля респондентов, выразивших высокую или очень высокую озабоченность, превышает 50 %). Обратная ситуация в ответах опрошенных из Китая и России, где большинство оценили погодные условия «примерно как обычно» (67 % и 62 % соответственно), а уровень обеспокоенности рисками, связанными с изменениями климата, ниже.

Темпоральные характеристики восприятия климатических изменений также показывают, что обеспокоенность усиливается – 76 % респондентов из Бразилии и 64 % опрошенных из ЮАР отметили, что стали больше беспокоиться изменением климата по сравнению с прошлым годом. Вместе с этим в Индии, несмотря на имеющийся личный опыт переживания экстремальных погодных явлений, доля тех, кто стал менее обеспокоен, составляет 23 %, что может указывать на привыкание к климатическим стрессам или снижение доверия к институтам, информирующим о состоянии климата, или управленческим структурам. В Китае и России, где большинство населения оценивает ситуацию как стабильную, уровень обеспокоенности остается относительно низким, что подчёркивает роль неклиматических факторов в формировании восприятия риска.

Восприятие климатических рисков населением в большинстве рассмотренных стран БРИКС тесно связано с личным опытом переживания экстремальных погодных явлений и динамикой изменения уровня обеспокоенности. На рис. 1 представ-

лена сравнительная оценка трёх ключевых аспектов восприятия рисков в странах БРИКС: 1) доля населения, отметившего усиление экстремальных погодных явлений, таких как засухи, наводнения, ураганы, а также аномальная жара или холод (вариант «хуже, чем обычно»); 2) процент респондентов, обеспокоенных будущим, на вопрос «Насколько вы обеспокоены последствиями изменения климата для следующего поколения?» отвечали «чрезвычайно» или «очень»; 3) доля тех, кто стал больше беспокоиться изменением климата по сравнению с прошлым годом (ответ «больше обеспокоен(а)»).

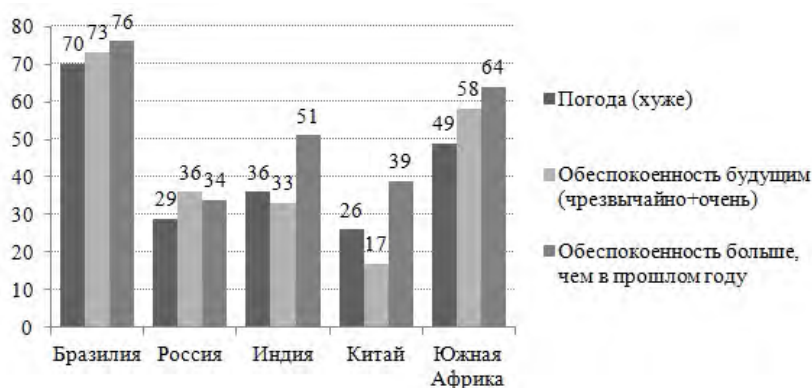


Рис. 1. Восприятие климатических рисков: влияние личного опыта и динамика обеспокоенности

Сопоставление этих показателей отражает связь между непосредственным климатическим опытом и интенсивностью воспринимаемой угрозы, особенно в странах с высокой частотой экстремальных явлений.

Анализ влияния восприятия изменения климата на повседневную жизнь (решения для вашей семьи, например, где жить или работать, или что покупать) отражает значительную дифференциацию показателей по странам (рис. 2).

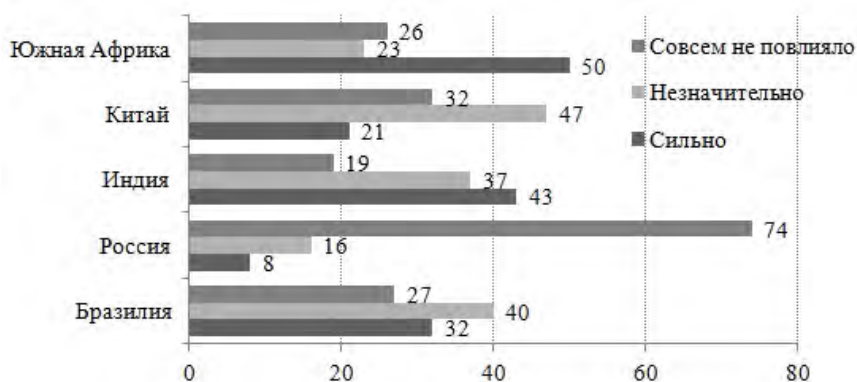


Рис. 2. Влияние изменения климата на важные жизненные решения семей в разных странах

В Бразилии и Индии, а особенно в Южной Африке (где 50 % респондентов отметили сильное влияние) климатические риски уже становятся фактором, определяющим выбор места жительства, работы или потребительского поведения. Тогда как в России большинство населения (74 %) считает, что изменение климата не повлияло на их решения, что указывает на слабую интеграцию климатических рисков в повседневное восприятие.

Несмотря на различия в социально-экономическом и политическом контексте, во всех пяти странах наблюдается высокая поддержка активных мер по защите и восстановлению природы, а также усилению защиты населения от экстремальных погодных явлений (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Данные кросс-национального опроса ООН, вопросы о необходимости государственной поддержки в условиях изменения климата

Вопрос	Вариант	Страна				
		Бразилия	Россия	Индия	Китай	ЮАР
Насколько активно ваша страна должна защищать и восстанавливать природу, например, сажая деревья или защищая диких животных?	Очень активно	89,0	81,0	75,0	79,0	83,0
	Незначительно	7,0	14,0	14,0	12,0	11,0
	Совсем не должна	3,0	2,0	10,0	8,0	4,0
	Не знаю	1,0	4,0	0,0	1,0	2,0
Когда речь идет о защите людей от риска экстремальных погодных явлений, таких как ураганы или аномальная жара, должна ли ваша страна обеспечивать...?	Больше защиты	90,0	62,0	76,0	71,0	85,0
	Примерно столько же, как и сейчас	6,0	29,0	13,0	29,0	8,0
	Меньше защиты	3,0	1,0	10,0	0,0	5,0
	Не знаю	1,0	8,0	1,0	0,0	1,0

Более 75 % респондентов в каждой стране считает, что их государство должно действовать «очень активно» в вопросах охраны природы, а в Бразилии – почти 90 %, что может свидетельствовать о сильной связи между национальной идентичностью и природным наследием, особенно в контексте Амазонии [10]. Ещё более выражена поддержка мер по защите людей: от 62 % в России до 90 % в Бразилии граждан выступают за «больше защиты» от климатических рисков, что указывает на растущее общественное требование к государству выполнять свою защитную функцию. В целом, рассмотренные данные доказывают, что даже в условиях разного экономического развития и отличающихся особенностей климатической динамики среди населения формируются установки о необходимости усиления адаптационных стратегий, а это требует от государства учета общественного мнения при принятии решений.

Резюмируя результаты анализа паттернов восприятия рисков, связанных с климатическими изменениями, и их интерпретации населением стран БРИКС, стоит подтвердить, что эти перцепции являются не прямым следствием фиксации изменений в наблюдениях, а сложным конструктом, который формируется личным опытом, уровнем доверия к власти, культурными нарративами и социальной справедливостью. В странах с высокой климатической тревожностью, таких как Бразилия

и Южная Африка, вероятно формирование благоприятного пространства для роста гражданских инициатив и движений, направленных на актуализацию информации об изменении климата. Напротив, в странах с низким уровнем восприятия угрозы, например, в России, существует риск структурной пассивной адаптации.

Таким образом, для эффективного реагирования на климатические угрозы необходим переход от универсальных информационных кампаний к локализованным коммуникационным стратегиям [11], которые учитывают социокультурный контекст.

Список литературы

1. Falzon D., Sen R. A call for a sociology of adaptation // Sociological Forum. – 2024. – Vol. 39, № 2. – P. 135–148. DOI: 10.1111/socf.12998
2. Reckien D. [et al.] Navigating the continuum between adaptation and maladaptation // Nature climate change. – 2023. – Vol. 13, № 9. – P. 907–918. DOI: 10.1038/s41558-023-01774-6
3. Максимова С.Г., Омельченко Д.А., Щеглова Д.К. Климатические изменения в общественном сознании жителей Алтайской горной страны (сопоставление социологических данных в трех регионах) // Society and Security Insights. – 2024. – № 2. – С. 13–36. DOI: 10.14258/SSI(2024)2-01
4. Рамочная конвенция Организации объединенных наций об изменении климата [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООН. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (дата обращения: 12.08.2025).
5. Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 г. № 812 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации Президента России. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910/page/1> (дата доступа: 12.08.2025).
6. Гринивецкий И.И., Гамбеева Ю.Н. Ключевые характеристики стран БРИКС на фоне мировой экономики // Вестник ЧелГУ. – 2024. – № 10 (492). – С. 186–193. DOI: 10.47475/1994-2796-2024-492-10-186-193
7. Ковалев Ю.Ю., Поршнева О.С. Страны БРИКС в международной климатической повестке // Вестник РУДН. Серия: Международные отношения. – 2021. – № 1. – С. 64–78. DOI: 10.22363/2313-0660-2021-21-1-64-78
8. Ревич Б.А. Изменения климата и лесные пожары как факторы риска здоровью (аналитический обзор) // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 3. – С. 132–145. DOI: 10.21668/health.risk/2024.3.14
9. Stories vs. facts: triggering emotion and action-taking on climate change / B.S. Morris, P. Chrysochou, J.D. Christensen, J.L. Orquin, J. Barraza, P.J. Zak, P. Mitkidis // Climatic change. – 2019. – № 154. – P. 19–36. DOI: 10.1007/s10584-019-02425-6
10. Попова И.М. Основные направления и инструменты политики низкоуглеродного развития Бразилии // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. – 2023. – Т. 18, № 4. – С. 34–61. DOI: 10.17323/1996-7845-2023-04-02
11. Сятчихин С.В. Обзор методик оценки адаптации населения региона в условиях перехода к динамичному развитию // Управленческий учет. – 2021. – № 6–3. – С. 738–750. DOI: 10.25806/uu6-32021738-750

К вопросу токсичности металлов и ПАУ, входящих в состав мелкодисперсных частиц атмосферного воздуха

А.А. Крылов, А.С. Зорина, Л.А. Зверева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Мелкодисперсные частицы являются одними из основных загрязнителей атмосферного воздуха. Мелкодисперсные частицы атмосферного воздуха могут иметь различный состав и содержать на своей поверхности различные вещества, в том числе металлы и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). При этом токсичность мелкодисперсных частиц определяется как их размером, так и присутствием различных компонентов в их составе. В статье приведен обзор научной зарубежной и отечественной литературы, посвященной токсичности металлов и ПАУ, входящих в состав мелкодисперсных частиц. Всего проанализировано 26 источников информации, временные границы анализируемого периода составили пять лет.

Ключевые слова: мелкодисперсные частицы, металлы, ПАУ, атмосферный воздух, влияние на здоровье.

Взвешенные вещества, состоящие из множества первичных и вторичных компонентов, содержащих различные вещества, являются одним из основных загрязнителей атмосферного воздуха. Особую опасность для здоровья населения представляют частицы микронного диапазона (PM), которые характеризуются длительным временем нахождения в воздухе во взвешенном состоянии и возможностью переноситься на дальние расстояния [1, 2]. Мелкодисперсные частицы, содержащиеся в атмосферном воздухе, вызывают неблагоприятные последствия для здоровья населения. При этом токсичность мелкодисперсных частиц атмосферного воздуха определяется не только их размером, но также и присутствием в их составе компонентов различной природы, в том числе металлов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). При этом потенциально токсичные вещества могут быть в большей степени представлены на более мелких частицах взвешенных веществ, которые достигают альвеол, проходят через клеточную мембрану, попадают в кровоток и распространяются по всему организму.

Цель исследования – обобщить и систематизировать сведения о влиянии на здоровье человека металлов и ПАУ, входящих в состав мелкодисперсных частиц.

Материалы и методы. Выполнен аналитический обзор зарубежных и отечественных источников, опубликованных в реферативных базах данных Web of Science, PubMed, Scopus и РИНЦ.

В аналитическом обзоре проанализированы литературные источники, касающиеся влияния на здоровье человека мелкодисперсных частиц различных фракций, в том числе содержащих в составе металлы и ПАУ. Всего проанализировано 26 источников информации, включающих публикации в специализированных журналах.

Результаты. Воздействие мелкодисперсных частиц различных фракций на организм человека активно изучается последнее десятилетие. Токсичность мелкодисперсных частиц часто связывают с их размером, так как от размера частиц зависит глубина их проникновения в легкие. Так, более мелкие частицы могут проникать глубоко в легкие и, попадая в кровеносную систему, пагубно влияют на весь организм [3]. Кроме того, токсичность мелкодисперсных частиц во многом определяется также их составом, который представлен первичными и вторичными компонентами, содержащими различные вещества, в том числе токсичные, такие как ПАУ и металлы [4–6]. При этом литературные данные показывают, что различные металлы могут содержаться как на крупных (с аэродинамическим диаметром 10 мкм и более), так и на мелких (с аэродинамическим диаметром 2,5 мкм и менее) фракциях мелкодисперсных частиц, тогда как ПАУ содержатся в основном на более мелких фракциях мелкодисперсных частиц [7–17].

Поскольку металлы обнаруживаются как на крупных, так и на мелких частицах, а ПАУ в основном на мелких частицах, это объясняет данные о токсичности более мелких частиц, подтвержденные многочисленными исследованиями [18]. Было показано, что воздействие PM_1 (частицы с аэродинамическим диаметром 1 мкм и менее) может способствовать высвобождению воспалительных цитокинов, нарушению целостности клеточных мембран и возникновению окислительных реакций, что в свою очередь приводит к риску возникновения атеросклероза [10, 19, 20]. Кроме того, воздействие PM_1 вызывает более выраженные цитотоксические эффекты, чем воздействие $PM_{2,5}$ (частицы с аэродинамическим диаметром 2,5 мкм и менее), которые авторы объясняют комбинированным действием размера и химического состава, тогда как генотоксические эффекты PM_1 авторы связывают в основном с химическими соединениями, что подтверждается другим исследованием [21]. Усиление неблагоприятных последствий для здоровья более мелких частиц, таких как PM_1 , вероятно, связано с более высокой эффективностью легочного осаждения, более легким проникновением в сосуды, большей площадью поверхности и концентрацией более токсичных компонентов [21].

Существуют отдельные исследования, изучающие воздействие на клетки и организм модельных животных, связанное с PM металлов и ПАУ. В исследовании [21] крыс Wistar подвергали воздействию обычного атмосферного воздуха, одновременно с этим вторую группу крыс Wistar подвергали воздействию фильтрованного атмосферного воздуха. Фильтры собирались для определения концентраций металлов на фракциях $PM_{2,5}$ и PM_1 . Авторы установили запуск генных изменений у тех крыс, которые подвергались воздействию атмосферного воздуха. В работе A. Di и др. [22] эпителиальные клетки альвеолярного типа II крысы (RLE-6TN) и клеточную линию альвеолярных макрофагов (NR8383) подвергали специально синтезированными $PM_{0,1}$ (частицы с аэродинамическим диаметром 0,1 мкм и менее), содержащими Cu и Fe. В результате было показано увеличение цитотоксичности, возникновение окислительного стресса, повреждение ДНК, увеличение высвобождения макрофагами провоспалительных цитокинов под действием Cu и Fe, ассоциированных на $PM_{0,1}$. В другом исследовании [23] при воздействии частиц $PM_{2,5}$, связанных с металлами, на эпителиальные клетки легких человека (A549) было показано увеличение относительной выработки активных форм кислорода и скорости апоптоза клеток. В работах

S. Ju и др. [24, 25] было показано, что ПАУ, связанные с PM_{10} (частицы с аэродинамическим диаметром 10 мкм и менее), вызывают нарушение обмена кальция, увеличение выработки активных форм кислорода и деградацию внеклеточного матрикса. В работе, посвященной изучению токсичности ПАУ, связанных с $PM_{2,5}$, также было возникновение окислительного стресса [26].

В комплексной работе [10], посвященной изучению содержания металлов и ПАУ на мелкодисперсных частицах, с отобранных фильтров получали твердые частицы фракций PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 , $PM_{0,2}$ (частицы с аэродинамическим диаметром 0,2 мкм и менее), часть которых отдавали на химический анализ, а другую часть – на исследование токсичности. Используя клеточную линию макрофагов мыши (RAW264.7) и отобранные мелкодисперсные частицы, авторы показали сочетанное воздействие металлов и ПАУ. PM_{10} оказывали наиболее сильное окислительное действие, снижение активности митохондрий клеток, повышение внутриклеточного окислительного потенциала и повышение регуляции воспалительных медиаторов, вероятно, из-за более высокого содержания металлических элементов. Воздействие PM_1 и $PM_{0,2}$ привело к индукции повреждения ДНК и разрушению целостности клеточной мембраны. Большинство отдельных химических компонентов, измеренных в четырех фракциях РМ, были тесно связаны почти со всеми токсикологическими реакциями, а также с различными токсикологическими конечными точками.

Заключение. Обзор зарубежных и отечественных литературных источников, посвященных изучению токсичности металлов и ПАУ, входящих в состав мелкодисперсных частиц атмосферного воздуха, показал, что РМ, содержащие металлы и ПАУ, вызывают различные токсикологические эффекты. В изученной литературе представлены такие токсикологические эффекты, как возникновение окислительного стресса, повреждение ДНК и запуск генных изменений, снижение активности митохондрий клеток, увеличение скорости апоптоза клеток, деградация внеклеточного матрикса, нарушение обмена кальция и повышение регуляции воспалительных медиаторов.

Однако токсичность мелкодисперсных частиц нельзя объяснить просто их составом, поскольку комбинированные токсикологические эффекты нескольких химических веществ трудно оценить. В дополнение к идентифицированным компонентам неидентифицированные компоненты мелкодисперсных частиц также могут оказывать сложные токсикологические эффекты.

Конечно, химический состав мелкодисперсных частиц чрезвычайно сложен, и связь между их составом и токсичностью также сложна. Поэтому вклад различных компонентов в токсичность мелкодисперсных частиц и конкретные токсикологические механизмы каждого компонента заслуживают подробного изучения.

Список литературы

1. Холодов А.С., Голохваст К.С. Результаты исследований гранулометрического и элементного состава атмосферных выпадений на территории заповедников Дальнего Востока РФ // Тихоокеанская география. – 2020. – № 3. – С. 38–46. DOI: 10.35735/tig.2020.64.91.004

2. Assessing the distributional characteristics of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ exposure profile produced and propagated from a construction activity / D. Cheriyan, K.Y. Hyun, H. Jaegoo, J. Choi // *Journal of Cleaner Production*. – 2020. – Vol. 276. – 124335. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124335
3. Role of morphology and chemical composition of PM for particle deposition in human respiratory system: A case study over megacity-Delhi / S. Fatima, S.K. Mishra, U. Kumar, A. Ahlawat, T.S. Dabodiya, D. Khosla // *Urban Climate*. – 2023. – Vol. 47. – P. 101344. DOI: 10.1016/j.uclim.2022.101344
4. Compositional changes of PM_{2.5} in NE Spain during 2009–2018: a trend analysis of the chemical composition and source apportionment / M. in 't Veld, A. Alastuey, M. Pandolfi, F. Amato, N. Perez, C. Reche [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 795. – P. 148728. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148728
5. Gupta A.D., Soni A., Gupta T. Synergistic cancer risk assessment from PM₁ bound metals and PAHs in the Indo-Gangetic Region // *Sustainable Chemistry for the Environment*. – 2023. – Vol. 1. – P. 100002. DOI: 10.1016/j.scenv.2023.100002
6. Spatial-temporal distribution and source analysis of atmospheric particulate-bound cadmium from 1998 to 2021 in China / W. Huang, D. Sun, T. Zhao, K. Long, Z. Zhang // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2024. – Vol. 46, № 44. DOI: 10.1007/s10653-023-01788-1
7. Gou G., Zhang D., Wang Y. Characteristics of heavy metals in size-fractionated atmospheric particulate matters and associated health risk assessment based on the respiratory deposition // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2021. – Vol. 43. – P. 285–299. DOI: 10.1007/s10653-020-00706-z
8. Kumari S., Jain M.K., Elumalai S.P. Assessment of Pollution and Health Risks of Heavy Metals in Particulate Matter and Road Dust Along the Road Network of Dhanbad, India // *Journal of Health and Pollution*. – 2021. – Vol. 11, № 29. – P. 210305. DOI: 10.5696/2156-9614-11.29.210305
9. Polycyclic aromatic hydrocarbons in PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀ atmospheric particles: identification, sources, temporal and spatial variations / F. Jahedi, H.D. Rad, G. Goudarzi, Y.T. Birgani, A.A. Babaei, K.A. Angali // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 19. – P. 851–866. DOI: 10.1007/s40201-021-00652-7
10. Sources, chemical components, and toxicological responses of size segregated urban air PM samples in high air pollution season in Guangzhou, China / M. Yang, H.-X. Zeng, X.-F. Wang, H. Hakkarainen, A. Leskinen, M. Komppula [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2023. – Vol. 865. – P. 161092. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.161092
11. Source analysis of heavy metals in atmospheric particulate matter in a mining city / J. Ou, L. Zheng, Q. Tang, M. Liu, S. Zhang // *Environmental Geochemistry and Health*. – 2021. – Vol. 44. – P. 979–991. DOI: 10.1007/s10653-021-00983-2
12. Chemical characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} combusted firecracker particles during Diwali of Lucknow City, India: air-quality deterioration and health implications / P. Saxena, A. Kumar, S.S.K. Mahanta, B. Sreekanth, D.K. Patel, A. Kumari [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – Vol. 29. – P. 88269–88287. DOI: 10.1007/s11356-022-21906-3

13. Characterizing metals in particulate pollution in communities at the fenceline of heavy industry: combining mobile monitoring and size-resolved filter measurements / M.W. Tehrani, E.C. Fortner, E.S. Robinson, A.A. Chiger, R. Sheu, B.S. Werden [et al.] // *Environmental Science: Processes & Impacts*. – 2023. – Vol. 25, № 9. – P. 1491–1504. DOI: 10.1039/d3em00142c
14. Size distribution, meteorological influence and uncertainty for source-specific risks: PM_{2.5} and PM₁₀-bound PAHs and heavy metals in a Chinese megacity during 2011–2021 / Y. Tian, B. Jia, P. Zhao, D. Song, F. Huang, Y. Feng // *Environmental Pollution*. – 2022. – Vol. 312. – P. 120004. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120004
15. Wu Y., Li G., An T. Toxic Metals in Particulate Matter and Health Risks in an E-Waste Dismantling Park and Its Surrounding Areas: Analysis of Three PM Size Groups // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, № 22. – P. 15383. DOI: 10.3390/ijerph192215383
16. Nationwide increase of polycyclic aromatic hydrocarbons in ultrafine particles during winter over China revealed by size-segregated measurements / Q. Yu, X. Ding, Q. He, W. Yang, M. Zhu, S. Li [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2020. – Vol. 20, № 23. – P. 14581–14595. DOI: 10.5194/acp-20-14581-2020
17. Characterization of PAHs bound to ambient ultrafine particles around runways at an international airport / J.J. Rodríguez-Maroto, S. García-Alonso, E. Rojas, D. Sanz, I. Ibarra, R. Pérez-Pastor [et al.] // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 352. – P. 141440. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.141440
18. Particulate matter from a tropical city in southeast Brazil: Impact of biomass burning on polycyclic aromatic compounds levels, health risks, and in vitro toxicity / C. Scaramboni, R.C. Urban, D.P. de Oliveira, D.J. Dorta, M.L.A.M. Campos // *Chemosphere*. – 2024. – Vol. 350. – P. 141072. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.141072
19. Redox-activity and in vitro effects of regional atmospheric aerosol pollution: Seasonal differences and correlation between oxidative potential and in vitro toxicity of PM₁ / G. Melzi, L. Massimi, M.A. Frezzini, M. Iulini, N. Tarallo [et al.] // *Toxicology and Applied Pharmacology*. – 2024. – Vol. 485. – P. 116913. DOI: 10.1016/j.taap.2024.116913
20. Characterization of organic aerosols in PM₁ and their cytotoxicity in an urban roadside area in Hong Kong / X. Niu, Y. Wang, S.S.H. Ho, H.-C. Chuang [et al.] // *Chemosphere*. – 2021. – Vol. 263. – P. 128239. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128239
21. Unraveling the blood transcriptome after real-life exposure of Wistar-rats to PM_{2.5}, PM₁ and water-soluble metals in the ambient air / I.S. Frydas, M. Kermenidou, O. Tsave, A. Salifoglou, D.A. Sarigiannis // *Toxicology Reports*. – 2020. – Vol. 7. – P. 1469–1479. DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.10.014
22. Mechanistic insights into the role of iron, copper, and carbonaceous component on the oxidative potential of ultrafine particulate matter / I. Tacu, I. Kokalari, O. Abollino, C. Albrecht, M. Malandrino [et al.] // *Chemical Research in Toxicology*. – 2021. – Vol. 34, № 3. – P. 767–779. DOI: 10.1021/acs.chemrestox.0c00399
23. Chemical Characterization of Seasonal PM_{2.5} Samples and Their Cytotoxicity in Human Lung Epithelial Cells (A549) / A. Di, Y. Wu, M. Chen, D. Nie, X. Ge // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 12. – P. 4599. DOI: 10.3390/ijerph17124599

24. Oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons from ambient particulate matter induce electrophysiological instability in cardiomyocytes / S. Ju, L. Lim, H.-Y. Jiao, S. Choi, J.Y. Jun, Y.-J. Ki [et al.] // Particle and Fibre Toxicology. – 2020. – Vol. 17. – P. 25. DOI: 10.1186/s12989-020-00351-5

25. Oxidative stress generated by polycyclic aromatic hydrocarbons from ambient particulate matter enhance vascular smooth muscle cell migration through MMP upregulation and actin reorganization / S. Ju, L. Lim, Y.-J. Ki, D.-H. Choi, H. Song // Particle and Fiber Toxicology. – 2022. – Vol. 19. – P. 29. DOI: 10.1186/s12989-022-00472-z

26. The changes and correlation of IL-6 and oxidative stress levels in RAW264.7 macrophage cells induced by PAHs in PM2.5 / J. Liu, H. Li, Z. Guo, X. Xiao, A. Viscardi, R. Xiang, H. Liu, X. Lin, J. Han // Environmental Geochemistry and Health. – 2024. – Vol. 46. – P. 61. DOI: 10.1007/s10653-023-01851-x

К вопросу выбора объектов контроля (надзора) для лабораторной оценки соответствия кулинарной продукции установленным требованиям

Н.В. Никифорова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Статья посвящена выбору объектов контроля (надзора) для лабораторной оценки соответствия кулинарной продукции установленным требованиям на основе анализа истории проверок. Результаты исследования могут быть использованы для задач планирования контроля (надзора) качества и безопасности кулинарной продукции.

Ключевые слова: кулинарная продукция, контроль, надзор, объекты контроля, история проверок.

Кулинарная продукция является одним из самых распространенных видов продукции, потребляемых населением. Изменения в пищевом поведении населения, произошедшие за последнее десятилетие, показывают, что потребители стали чаще отдавать предпочтение готовой еде из ресторанов, кафе, столовых, в том числе доставке готовых кулинарных блюд [1, 2], соответственно, выросла доля кулинарной продукции в рационе питания населения. Одним из преимуществ выбора такого вида продукции потребителями является экономия времени, затрачиваемого на приготовление пищи [3]. При этом кулинарная продукция, в виду особенностей ее изготовления, может являться источником опасности для здоровья потребителей [4]. В последнее время в различных регионах страны регистрируются вспышки острых кишечных инфекций, связанных с контаминацией кулинарной продукции микро-

биологическими агентами [5]. Контроль (надзор) продукции в обороте, проводимый Роспотребнадзором, позволяет выявить и вывести с рынка некачественную и небезопасную продукцию и минимизировать риски для здоровья населения [6]. При этом надзор должен быть направлен на высокорисковые объекты, осуществляющие оборот продукции, и высокорисковую продукцию. Разработанные Роспотребнадзором методические рекомендации позволяют классифицировать контролируемых лиц по риску причинения вреда здоровью, а также установить категорию риска для вида продукции. Лабораторное сопровождение контрольных (надзорных) мероприятий является важным элементом системы, так как позволяет фактически подтвердить соответствие тех или иных параметров продукции установленным требованиям. В виду ограниченности ресурсов на проведение контроля (надзора) актуальность приобретает обоснование выбора тех видов деятельности, на которых продукция должна быть отобрана в первую очередь для исследований в лабораторных условиях.

Поэтому **целью данной работы** явилось установление приоритетных для отбора проб кулинарной продукции видов деятельности с целью последующей оценки соответствия продукции установленным требованиям.

Материалы и методы. Основным методом явилось изучение истории проверок кулинарной продукции на примере одного из регионов Российской Федерации. Использовали данные модуля «Лабораторное обеспечение» Единой информационно-аналитической системы Роспотребнадзора (ЕИАС) за 2023 г. Оценивали количество образцов кулинарной продукции, отобранных на различных видах деятельности (в соответствии с ОКВЭД) для лабораторных исследований, и долю образцов, не соответствующих установленным санитарно-гигиеническим требованиям.

Оценивали достоверность различий доли образцов продукции, не соответствующей установленным требованиям, полученной на разных видах деятельности, с помощью критерия χ^2 – угловое преобразование Фишера (критерий Фишера), достоверным считали значение $p \leq 0,05$.

Результаты. Кулинарная продукция составляет значительную часть от всех видов продукции, исследуемых в лабораторных условиях, в рамках контроля (надзора), мониторинга качества и безопасности продукции – по региональным данным, доля кулинарной продукции составила 30,4 % в структуре исследуемых образцов продукции.

Наибольшее количество образцов кулинарной продукции было отобрано на объектах, осуществляющих деятельность по предоставлению продуктов питания и напитков, предприятиях общественного питания – 2374 образца; объектах образования – 1132 образца; объектах, осуществляющих деятельность в области здравоохранения, – 709 образцов, что может быть обусловлено отнесением вышеуказанных видов деятельности к категориям чрезвычайно-высокого и высокого риска здоровью¹ и проведением большего, по сравнению с другими видами деятельности, количества контрольных (надзорных) мероприятий.

¹ О федеральном государственном санитарно-эпидемиологическом контроле (надзоре): Постановление Правительства РФ от 30.06.2021 № 1100 (Приложение 1) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_389344/ (дата обращения: 19.08.2025).

При этом наибольшая доля образцов кулинарной продукции, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим требованиям, была получена на объектах оптовой торговли – 33,3 % образцов, на втором месте – объекты розничной торговли – 12,5 % образцов, на третьем месте – объекты предприятий общественного питания – 7,4 % образцов (таблица).

Частота нарушений санитарно-эпидемиологических требований,
предъявляемых к кулинарной продукции, в разрезе объектов,
осуществляющих оборот пищевой продукции, 2023 г., %

Код ОКВЭД	Расшифровка ОКВЭД	Количество образцов	Количество образцов из них с нарушениями	Доля образцов, не соответствующих установленным санитарно-гигиеническим требованиям, %
46	Торговля оптовая	6	2	33,3
47	Торговля розничная	120	15	12,5
56	Деятельность по предоставлению продуктов питания и напитков, предприятия общественного питания	2374	175	7,4
85	Образование	1132	37	3,3
86	Деятельность в области здравоохранения	709	3	0,4
10	Производство пищевых продуктов	37	0	0

Установлено, что частота встречаемости кулинарной продукции, не соответствующей установленным требованиям, на объектах оптовой и розничной торговли не имела между собой достоверных различий ($p > 0,05$). Тогда как частота встречаемости кулинарной продукции, не соответствующей установленным требованиям, на объектах оптовой и розничной торговли была достоверно выше, чем на объектах, осуществляющих деятельность по предоставлению продуктов питания и напитков, предприятиях общественного питания, образования, а также деятельности в области здравоохранения ($p \leq 0,05$). На объектах, осуществляющих деятельность по предоставлению продуктов питания и напитков, предприятиях общественного питания чаще, чем на объектах образования и деятельности в области здравоохранения, обнаруживали кулинарную продукцию, не соответствующую установленным требованиям ($p \leq 0,05$).

Низкая доля образцов кулинарной продукции, не соответствующей требованиям, на объектах, осуществляющих образовательную деятельность и деятельность в области здравоохранения, может быть обусловлена более частым надзором за деятельностью и результатами деятельности этих объектов, что позволяет улучшить качество и безопасность кулинарной продукции, реализуемой этими объектами.

Отсутствие кулинарной продукции, не соответствующей установленным требованиям, на объектах, осуществляющих производство пищевых продуктов, может быть обусловлено эффективной реализацией системы ХАССП на предприятиях.

Выводы. Полученные результаты могут быть использованы при планировании контрольной (надзорной) деятельности качества и безопасности кулинарной продукции на следующий год. Так, приоритетными для отбора проб кулинарной продукции являются такие объекты как: объекты оптовой торговли (ОКВЭД 46), розничной торговли (ОКВЭД 47); объекты, осуществляющие деятельность по предоставлению продуктов питания и напитков, предприятия общественного питания (ОКВЭД 56). На объектах образования (ОКВЭД 85), объектах, осуществляющих деятельность в области здравоохранения (ОКВЭД 86), производства пищевых продуктов (ОКВЭД 10) количество образцов кулинарной продукции, отбираемых для анализа в лабораторных условиях, может быть сокращено.

Ввиду малого количества образцов кулинарной продукции, отбираемого на некоторых видах деятельности (в данном случае объекты оптовой торговли) при организации мероприятий по контролю (надзору) необходимо использовать дополнительные источники информации о качестве и безопасности реализуемой продукции, например, данные производственного контроля, информацию из других открытых источников и пр.

Анализ истории проверок за предыдущий период позволяет выделить приоритетные объекты для лабораторной оценки соответствия кулинарной продукции установленным требованиям на следующий год. Концентрация усилий на приоритетных объектах может повысить уровень результативности контроля (надзора) качества и безопасности продукции.

Список литературы

1. Карпунина Е.К., Губернаторова Н.Н., Соболевская Т.Г. Эффекты пандемии COVID-19: новые паттерны потребительского поведения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2022. – № 1 (1). – С. 63–76. DOI: 10.37493/2307-907X.2022.1.8
2. Тиунов В.М. Сервисы доставки здоровой еды как современное явление в условиях карантина [Электронный ресурс] // ТППП АПК. – 2020. – № 3. – С. 56–64. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/servisy-dostavki-zdorovoy-edy-kak-sovremennoe-yavlenie-v-usloviyah-karantina> (дата обращения: 19.08.2025).
3. Рынок готовой кулинарии: итоги 2023 года /2024) [Электронный ресурс] // Курьер vs официант. – 2024. – № 1. – URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2024/222980/222994> (дата обращения: 19.08.2025).
4. Новоселов В.Г., Сергеев В.И. Кулинарная продукция как фактор передачи возбудителей острых кишечных инфекций // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2018. – № 2 (13). – С. 446–449.
5. Bacteriological Quality and Biotoxin Profile of Ready-to-Eat Foods Vended in Lagos, Nigeria [Электронный ресурс] / O.M. Makinde, M. Sulyok, R.A. Adeleke [et al.] // Foods. – 2023. – № 12 (6). – URL: <https://doi.org/10.3390/foods12061224> (дата обращения: 19.08.2025).
6. К совершенствованию модели риск-ориентированного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора) пищевой продукции в обороте / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Н.В. Никифорова, Д.А. Кирьянов // Анализ риска здоровью. – 2023. – № 3. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2023.3.01

Анализ структуры и динамики нарушений требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в Российской Федерации (2021–2024 гг.)

Э.В. Седусова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В статье представлены результаты анализа структуры и динамики нарушений в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в Российской Федерации в 2021–2024 гг.

Число нарушений в сфере розничной торговли в 2024 г., по сравнению с 2021 г., увеличилось в 9,7 раз, при этом частота нарушений снизилась в 1,5 раза.

В 2024 г. в розничной торговле 21,8 % нарушений приходилось на Закон «О защите прав потребителей», чаще всего нарушались требования иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей (70,6 %), реже фиксировались нарушения технических регламентов (7,6 %).

Выявленные тенденции в розничной торговле обусловлены развитием рынка, внедрением онлайн-торговли, совершенствованием законодательства, реформой контрольной (надзорной) деятельности, переориентацией на профилактические мероприятия, активным использованием мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами, внедрением маркировки товаров, индикаторов риска нарушения обязательных требований и пр.

Ключевые слова: нарушение требований, защита прав потребителей, розничная торговля, контрольные (надзорные) мероприятия, обязательные требования.

В современных условиях увеличения объема онлайн-торговли, появления новых форм предпринимательской деятельности, использования искусственного интеллекта особое значение приобретает эффективная защита прав потребителей в сфере розничной торговли, поскольку сфера розничной торговли характеризуется высокой вероятностью массовых нарушений [1, 2].

Актуальность защиты прав потребителей возрастает в связи с реформой контрольной (надзорной) деятельности, сопровождающейся исключением плановых контрольных (надзорных) мероприятий в области защиты прав потребителей, переориентацией на профилактические мероприятия, а также сокращением оснований для проведения внеплановых контрольных (надзорных) мероприятий [3–5].

Анализ структуры и динамики нарушений в сфере розничной торговли поможет выявить проблемы в данной сфере, разработать меры по их устранению, спланировать органами контроля (надзора) профилактические мероприятия, повысить эффективность и результативность органов контроля (надзора), а также уровень защиты прав потребителей.

Цель исследования – провести анализ структуры и динамики нарушений в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли по результатам федерального государственного контроля (надзора) в области защиты прав потребителей в Российской Федерации в 2021–2024 гг.

Материалы и методы. Для анализа нарушения обязательных требований в сфере защиты прав потребителей в области розничной торговли использовали данные формы ведомственной статистической отчетности «Сведения о результатах осуществления федерального государственного надзора территориальными органами Роспотребнадзора» (форма 1, таблица раздела 3) по Российской Федерации за 2021–2024 гг.

Рассчитаны доля контрольных (надзорных) мероприятий в сфере розничной торговли от общего числа контрольных (надзорных) мероприятий в области защиты прав потребителей; доля нарушений в сфере розничной торговли от общего количества нарушений в области защиты прав потребителей. Определено число нарушений требований в области защиты прав потребителей, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие (КНМ), в сфере розничной торговли. Определена структура и динамика нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли, в том числе Закона «О защите прав потребителей».

Результаты. Анализ результатов федерального государственного контроля (надзора) в области защиты прав потребителей показал, что в 2024 г. большая часть проведенных **контрольных** (надзорных) мероприятий (95,0 %) и выявленных нарушений (95,4 %) обязательных требований в области защиты прав потребителей в Российской Федерации приходилась на объекты розничной торговли [6, 7].

Доля контрольных (надзорных) мероприятий в отношении объектов розничной торговли от общего количества контрольных (надзорных) мероприятий в 2024 г. относительно 2021 г. увеличилась в 1,4 раза (в 2021 г. – 67,1 %) (рис. 1). Аналогично доля нарушений требований в отношении объектов розничной торговли в общем объеме нарушений увеличилась в 1,3 раза в 2024 г. по сравнению с 2021 г. (в 2021 г. – 74,2 %).

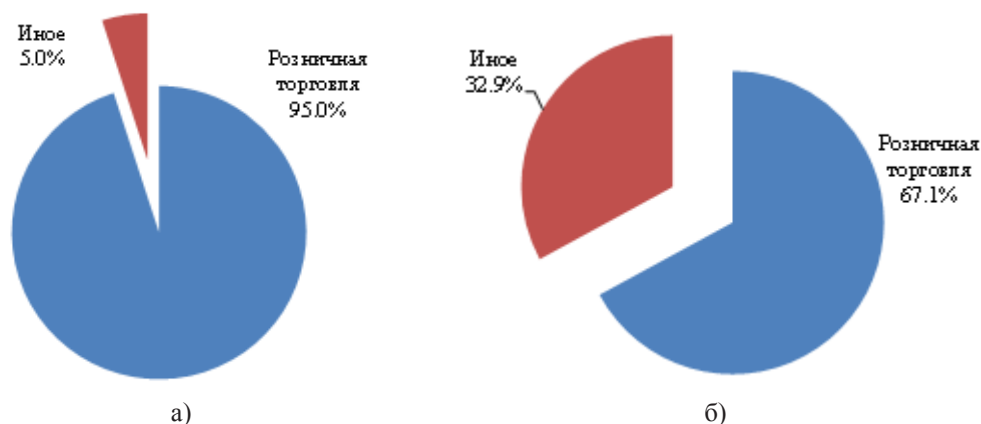


Рис. 1. Вклад розничной торговли в структуру контрольных (надзорных) мероприятий в области защиты прав потребителей в Российской Федерации: а) в 2021 г.; б) в 2024 г.

Число контрольных (надзорных) мероприятий в сфере розничной торговли увеличилось в 2024 г. по сравнению с 2021 г. в 14,0 раз и составило 126464 (в 2021 г. – 8967) (рис. 2). Рост числа контрольных (надзорных) мероприятий в сфере розничной торговли в 2024 г., по сравнению с 2021 г., незначительно превышал среднероссийский рост числа контрольных (надзорных) мероприятий в сфере защиты прав потребителей (2021 г. – 11346; 2024 г. – 133116).

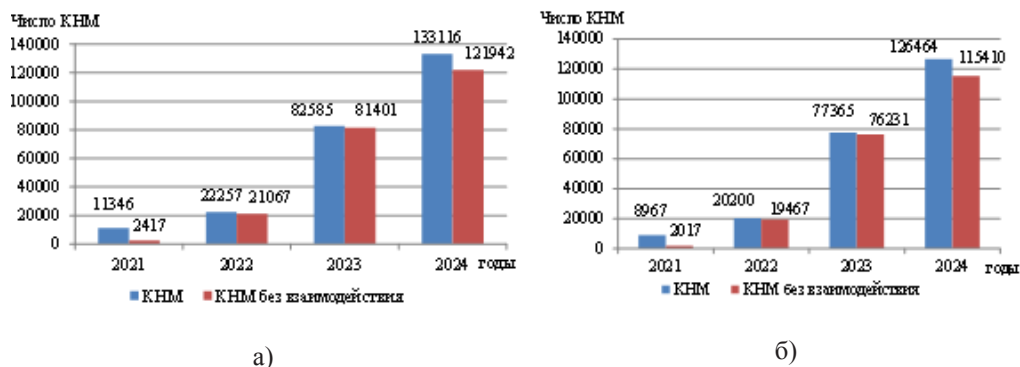


Рис. 2. Число контрольных (надзорных) мероприятий (КНМ) в области защиты прав потребителей в Российской Федерации в 2021–2024 гг.:
а) в сфере розничной торговли; б) во всех сферах услуг

Рост числа контрольных (надзорных) мероприятий был обусловлен увеличением количества контрольных (надзорных) мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами с использованием автоматизированных систем и аналитических данных для выявления потенциальных нарушений. Доля контрольных (надзорных) мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами в сфере розничной торговли в 2024 г. по сравнению с 2021 г. выросла в 4,1 раза и составила 91,3 % от общего количества контрольных (надзорных) мероприятий в данной сфере (в 2021 г. – 22,5 %). Доля контрольных (надзорных) мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами в сфере розничной торговли соответствовала среднероссийской доле контрольных (надзорных) мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами в области защиты прав потребителей (в 2021 г. – 21,3 %; в 2024 г. – 91,6 %).

На фоне роста числа контрольных (надзорных) мероприятий в сфере розничной торговли в 2024 г. по сравнению с 2021 г. в 9,7 раз увеличилось количество выявленных нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в данной сфере и составило 230284 (в 2021 г. – 23717) (рис. 3). Рост количества выявленных нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в 2024 г. по сравнению с 2021 г. больше в 1,3 раза, чем среднероссийский рост количества выявленных нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей (2021 г. – 31959; 2024 г. – 241370).

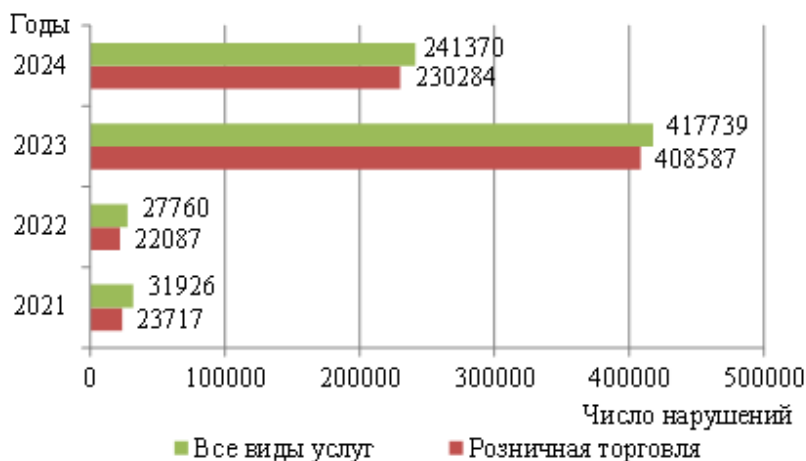


Рис. 3. Число нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей, в том числе в сфере розничной торговли, в Российской Федерации в 2021–2024 гг.

При этом показатель, характеризующий отношение числа выявленных нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей к количеству контрольных (надзорных) мероприятий в сфере розничной торговли, в 2024 г. снизился относительно 2021 г. в 1,5 раз и составил 1,8 (в 2021 г. – 2,6) (таблица 1). Частота нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в 2024 г. соответствовала средней российской частоте нарушений в области защиты прав потребителей (2021 г. – 2,8; 2024 г. – 1,8).

Число нарушений, приходящихся на одно контрольное (надзорное) мероприятие за соблюдением требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли, в Российской Федерации в 2021–2024 гг.

Наименование видов деятельности	Годы			
	2021	2022	2023	2024
Все виды услуг	2,8	1,3	5,1	1,8
Розничная торговля	2,6	1,1	5,3	1,8

В 2024 г. структура нарушений в розничной торговле отражала общую структуру нарушений в области защиты прав потребителей в Российской Федерации: чаще всего нарушались требования иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей (в сфере розничной торговли – 70,6 %; в среднем в области ЗПП – 68,9 %).

Четверть нарушений в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в 2024 г. (21,8 %) приходилась на нарушения Закона «О защите прав потребителей». Реже фиксировались нарушения технических регламентов (7,6 % нарушений) (рис. 4).

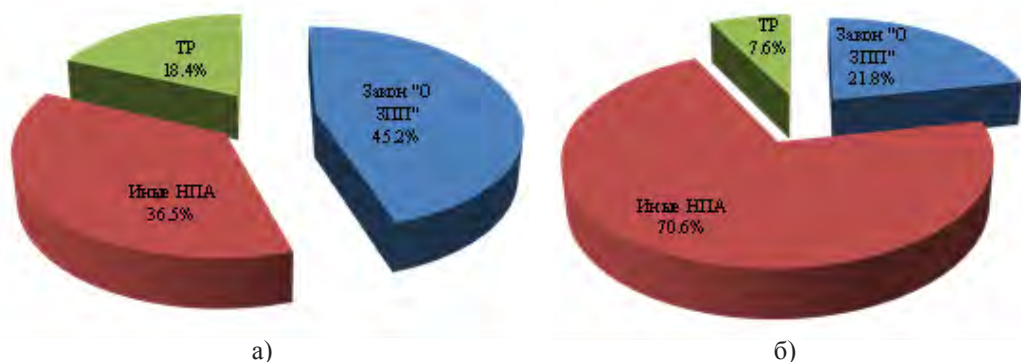


Рис. 4. Структура нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в Российской Федерации: а) 2021 г.; б) 2024 г.

В 2024 г. удельный вес нарушений иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в общем объеме нарушений увеличился в 1,9 раз относительно 2021 г. (в 2021 г. – 36,5 %). Динамика удельного веса нарушений иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в общем объеме нарушений соответствует динамике среднего российского удельного веса нарушений иных нормативных правовых актов в области защиты прав потребителей (2021 г. – 36,5 %; в 2024 г. – 68,9 %).

Анализ структуры нарушений обязательных требований в розничной торговле Закона «О защите прав потребителей» в Российской Федерации в 2021–2024 гг. показал, что чаще всего выявлялись нарушения ст. 8–10, 12, связанные с информацией о товаре, работе, услуге и лицах, их предоставляющих (в 2021 г. – 58,6 %; 2024 г. – 44,8 %) (рис. 5). Удельный вес нарушений ст. 8–10, 12 Закона «О защите прав потребителей» в розничной торговле в 2021–2024 гг. соответствует среднему российскому удельному весу нарушений обязательных требований Закона «О защите прав потребителей» (2021 г. – 53,5 %; 2024 г. – 45,1 %).

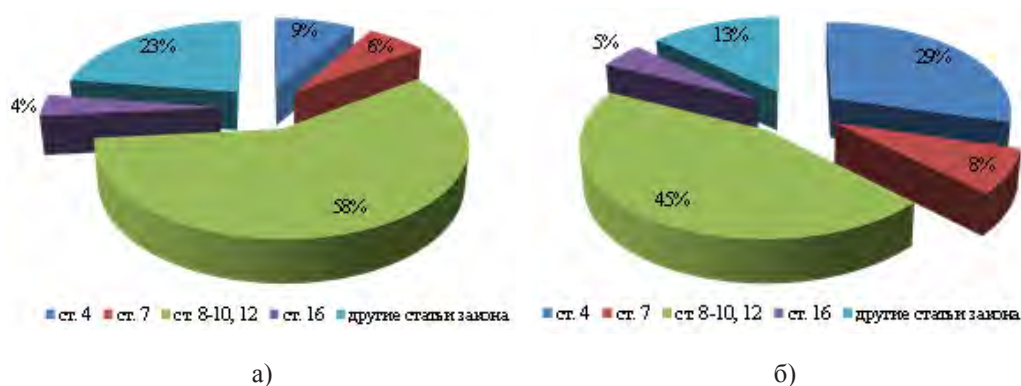


Рис. 5. Структура нарушений обязательных требований Закона «О защите прав потребителей» в сфере розничной торговли в Российской Федерации: а) 2021 г.; б) 2024 г.

Анализ динамики нарушений обязательных требований Закона «О защите прав потребителей» в Российской Федерации в 2021–2024 гг. показал, что структура нарушений по статьям Закона «О защите прав потребителей» в сфере розничной торговли достаточно стабильна, как и среднероссийская структура.

Выводы. Анализ структуры контрольных (надзорных) мероприятий и нарушений в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в Российской Федерации в 2021–2024 гг. показал, что большая часть проведенных контрольных (надзорных) мероприятий и выявленных нарушений приходится на объекты розничной торговли. Динамика и структура нарушений в розничной торговле отражает динамику и структуру нарушений в области защиты прав потребителей.

Число контрольных (надзорных) мероприятий и нарушений в сфере розничной торговли увеличилось в 2024 г. по сравнению с 2021 г. в 14,0 и 9,7 раз, при этом частота нарушений на одно мероприятие снизилась в 1,5 раза.

В 2024 г. в розничной торговле чаще всего нарушались требования иных нормативных правовых актов (70,6 %); 21,8 % нарушений приходились на нарушения Закона «О защите прав потребителей», реже фиксировались нарушения технических регламентов (7,6 %). Чаще всего нарушались требования к информации о товаре, работе, услуге и лицах, их предоставляющих. Доля нарушений иных нормативных правовых актов в розничной торговле увеличилась в 2,1 раза по сравнению с 2021 г.

Выявленные тенденции в динамике и структуре нарушений в розничной торговле обусловлены развитием рынка, внедрением онлайн-торговли, совершенствованием законодательства, реформой контрольной (надзорной) деятельности, переориентацией на профилактические мероприятия, активным использованием мероприятий без взаимодействия с контролируемыми лицами, внедрением маркировки товаров, индикаторов риска нарушения обязательных требований и пр.

Список литературы

1. Васильева А.В. Проблема соблюдения прав потребителей в условиях дистанционной торговли через маркетплейсы // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2024. – Т. 13, № 1. – С. 139–145.
2. Ращупкина Л.В., Комиссарова С.В., Мороз Е.Н. Защита прав покупателя при дистанционном способе покупки товаров: теория и практика // Экономика. Право. Общество. – 2024. – Т. 9, № 2 (38). – С. 101–106.
3. Джамбулатов С.И. Государственный надзор в области защиты прав потребителей // Пробелы в российском законодательстве. – 2017. – № 5. – С. 61–64.
4. Абдулбеков М.А. Федеральный государственный контроль (надзор) в сфере защиты прав потребителей // Вестник научной мысли. – 2022. – № 7. – С. 73–78.
5. Седусова Э.В., Никифорова Н.В., Клейн С.В. Анализ структуры нарушений обязательных требований в области защиты прав потребителей в Российской Федерации // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2024: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием. Пермь, 2024. – С. 58–64.

6. Защита прав потребителей в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад.— М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. — 340 с.

7. Защита прав потребителей в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад.— М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. — 442 с.

Управление рисками инфекций у родильниц: оценка вклада социальных факторов в формирование колонизации резистентными штаммами условно-патогенных микроорганизмов

Ю.С. Стагильская^{1,2}

Научный руководитель – д.м.н. С.С. Смирнова^{1,2}

¹ФБУН «Федеральный научно-исследовательский институт вирусных инфекций «Виром»,

²Кафедра эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия

Рост антибиотикорезистентности условно-патогенных микроорганизмов представляет серьёзную угрозу для здоровья матери и новорождённого. Анализ 166 историй родов в областном перинатальном центре показал, что социальные факторы (проживание в сельской местности, низкий уровень образования, отсутствие работы и незарегистрированный брак) значительно повышают относительный риск обнаружения резистентных УПМ у клинически здоровых родильниц.

Ключевые слова: родильницы, условно-патогенные микроорганизмы, антибиотикорезистентность, факторы риска.

Проблема антибиотикорезистентности (АМР) приобретает глобальный характер, что подтверждается данными ВОЗ (2024), согласно которым ежегодно более 1,27 млн смертей связаны с устойчивыми к антибиотикам инфекциями [1]. Особую опасность представляют внутрибольничные инфекции (ВБИ), вызванные резистентными штаммами ESKAPE-патогенов (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* и др.), которые ответственны за 65 % случаев ВБИ в акушерских стационарах [2].

Колонизация родовых путей резистентными условно-патогенными микроорганизмами (УПМ) у здоровых родильниц создаёт риски послеродовых осложнений, включая эндометрит, раневые инфекции и неонатальный сепсис [3]. По данным CDC (Centers for Disease Control and Prevention) (2022), в США до 30 % случаев неона-

тального сепсиса связано с вертикальной передачей резистентных бактерий от матери [2].

Социально-экономические факторы, такие как низкий уровень образования, проживание в сельской местности и ограниченный доступ к медицинской помощи, усугубляют проблему АМР [4, 5]. В России, согласно докладу Роспотребнадзора (2023), отмечается рост резистентности *Enterobacteriaceae* к цефалоспорином III поколения (до 25 % штаммов) и карбапенемам (до 5 %) [6].

Таким образом, изучение влияния социальных факторов на распространение резистентных штаммов УПМ у родильниц является актуальной задачей, требующей междисциплинарного подхода.

Цель – оценить влияние социальных факторов риска на частоту выявления резистентных штаммов условно-патогенных микроорганизмов у здоровых родильниц.

Материалы и методы. Основой для данного исследования послужило ранее проведённое исследование частоты выделения резистентных штаммов УПМ у здоровых родильниц, проведённое в 2023 г. в рамках диссертационного исследования «Внутрибольничные гнойно-септические инфекции родильниц: современные проявления эпидемического процесса, факторы риска, система профилактики, риск-ориентированный эпидемиологический надзор», в ходе которого был выделен широкий спектр УПМ с фенотипическими и генотипическими признаками резистентности и вирулентности.

Проведён анализ 166 историй родов женщин, родоразрешившихся в феврале–марте 2023 г. в областном перинатальном центре (ОПЦ). Родильницы были разделены на две группы. В основную группу вошли пациентки с резистентными штаммами (R-штаммами) УПМ, выделенными из родовых путей ($n = 100$), группу сравнения составили женщины, у которых были выделены УПМ без признаков резистентности, либо без выделения УПМ ($n = 66$).

При анализе полученных данных применяли эпидемиологический и статистический методы исследования. Данные представлены в виде абсолютных и относительных величин (%). Статистическую значимость различий оценивали по точному критерию Фишера (ϕ) при уровне вероятности различий не более 0,05. Для количественной оценки эффекта при сравнении относительных показателей использовались показатели относительного риска (RR). Для проекции полученных значений выборки на генеральную совокупность были рассчитаны границы 95%-го доверительного интервала (95% ДИ). Взаимосвязь исхода и фактора считалась доказанной, если доверительный интервал выходил за пределы границы отсутствия эффекта, равной 1. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office 2010, онлайн-ресурса <https://medstatistic.ru/>, PC Statistica 10.

Исследование проведено в Урало-Сибирском научно-методическом центре по профилактике ИСМП ФБУН ФНИИВИ «Виром» Роспотребнадзора в рамках реализации НИР «Изучение эпидемического процесса и профилактика вирусных инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (на примере ветряной оспы, кори и ротавирусной инфекции и др.)», рег. № НИОКТР 121040500099-5.

Результаты. Проведённый анализ выборки 166 обследованных родильниц выявил следующие особенности: средний возраст участниц 30,1 года, в том числе основ-

ная группа ($n = 100$) – 29,6 лет (диапазон 18–42), группа сравнения ($n = 66$) – 30,8 лет (диапазон 22–45). Роды в ОПЦ в среднем происходили на 38,8 неделе гестации, при этом в основной группе – на 38,3 неделе, а в группе сравнения – на 39,5 неделе. Оперативное родоразрешение (кесарево сечение) было выполнено в 37,3 % случаев, в основной группе – в 42 %, а в группе сравнения – в 30,3 %.

В активном репродуктивном возрасте (от 18 до 27 лет) находились 39,8 % родильниц. В первой группе доля женщин этого возраста составила 45 %, во второй группе – 31,8 %, что не выявило статистически значимых различий (фэмп = 1,715; H_1 на $p < 0,05$ и H_0 на $p > 0,01$). Возраст рожениц не оказывал существенного влияния на относительный риск обнаружения у них резистентных штаммов ($RR = 1,240$; 95 % ДИ [0,973–1,579]).

Преобладающее большинство рожениц (81,9 %) проживали в городах, однако доля сельских жительниц в основной группе была в 6 раз выше, составив 27 % против 4,5 % в группе сравнения (фэмп = 4,181; $p < 0,01$). При этом риск обнаружения резистентных штаммов УПМ при проживании в сельской местности возрастал в 1,7 раза ($RR = 1,677$; 95 % ДИ [1,378–2,041]).

Доля женщин, состоявших в официально зарегистрированном браке, превышала долю незамужних в 11,8 раз (92,2 % против 7,8 %). Примечательно, что все незамужние женщины были из основной группы, где их доля достигла 34 %. Риск выявления резистентных штаммов у незамужних женщин оказался в 1,8 раза выше по сравнению с замужними ($RR = 1,759$; 95 % ДИ [1,532–2,019]).

Уровень образования участниц варьировал от основного общего (9 классов школьного образования) до высшего. Доля женщин с низким уровнем образования была значительно выше в основной группе (25 %) по сравнению с группой сравнения (1,5 %, фэмп = 5,047; $p < 0,01$). Относительный риск обнаружения R-штаммов УПМ у женщин с низким уровнем образования был в 1,8 раза выше, чем у женщин, имевших профессиональное образование ($RR = 1,795$; 95 % ДИ [1,511–2,132]).

Анализ занятости среди участниц выявил 79,5 % работающих и 20,5 % неработающих родильниц. В основной группе доля неработающих женщин была выше в 7,5 раз по сравнению со второй группой (4,5 %, фэмп = 4,737; $p < 0,01$). Относительный риск выявления R-штаммов УПМ был в 1,7 раза выше у неработающих женщин ($RR = 1,744$; 95 % ДИ [1,437–2,117]).

Обсуждение. Полученные нами результаты в целом согласуются с данными других исследователей. Резистентные бактерии, в частности, ESCAPE-патогены, широко распространены среди беременных и связаны с множеством факторов, таких как географическое положение, место проведения родов, способ родоразрешения, особенности анамнеза и другие [3, 4]. Колонизация родовых путей резистентными УПМ создаёт серьёзные риски как для матери, так и для новорождённого [3].

Согласно отчёту Центра по контролю и профилактике заболеваний (CDC), в 2022 г. зафиксирован значительный рост антибиотикорезистентности среди патогенов группы ESCAPE. В период пандемии (с пиковым значением в 2021 году) частота нозокомиальных инфекций, вызванных данными антибиотикорезистентными бактериями, увеличилась на 20 % по сравнению с допандемийным уровнем. В 2022 г. показатели резистентности ESCAPE-патогенов сохранялись на повышенном уровне, за исключением метициллин-резистентного *S.aureus*. Упомянутые патогены являются этиологическим агентом приблизительно 65 % всех внутрибольничных инфекций [2].

Отмечается, что жительницы сельских районов чаще сталкиваются с повышенным уровнем АМР и ограниченным доступом к квалифицированной медицинской помощи [4, 5].

В свете этих данных становится очевидной необходимость углублённого изучения факторов риска формирования и распространения резистентных штаммов УПМ среди родильниц. Как показывают исследования Bebell и др. [4], ключевыми детерминантами в данном случае могут выступать социально-экономические факторы (низкий уровень образования, сельское проживание). Однако, принимая во внимание мнение ВОЗ по данному вопросу, можно предполагать вклад общемировой тенденции увеличения количества резистентных к антимикробным препаратам бактерий за счет необоснованного применения антибиотиков и отсутствия мониторинга уровня резистентности [1].

Выводы. На вероятность обнаружения устойчивых к антибиотикам микроорганизмов у женщин в послеродовом периоде имели значимое влияние социальные факторы: проживание в сельской местности (RR = 1,677; 95 % ДИ [1,378–2,041], низкий уровень образования (RR = 1,795; 95 % ДИ [1,511–2,132]), отсутствие трудоустройства (RR = 1,744; 95 % ДИ [1,437–2,117]) и незарегистрированный брак (RR = 1,759; 95 % ДИ [1,532–2,019]).

Список литературы

1. Antimicrobial resistance [Электронный ресурс] // WHO. – URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance> (дата обращения: 20.05.2025).
2. Antimicrobial Resistance Threats in the United States, 2021-2022 [Электронный ресурс] // CDC. – URL: <https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/data-research/threats/update-2022.html> (дата обращения: 20.05.2025).
3. Vaginal versus Obstetric Infection Escherichia coli Isolates among Pregnant Women: Antimicrobial Resistance and Genetic Virulence Profile / E. Sáez-López, E. Guiral, D. Fernández-Orth, S. Villanueva, A. Goncé, M. López, I. Teixidó, A. Pericot, F. Figueras, M. Palacio, T. Cobo, J. Bosch, S. Soto // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11. DOI: 10.1371/journal.pone.0146531
4. Antimicrobialresistant infections among postpartum women at a Ugandan referral hospital / L.M. Bebell, J. Ngonzi, J. Bazira, Y. Fajardo, A.A. Boatín, M.J. Siedner [et al.] // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12(4). – P. e0175456. DOI: 10.1371/journal.pone.0175456
5. Acute health care utilization in the first 24 months postpartum by rurality and pregnancy complications: a prospective cohort study / K.A. Ahrens, K. Palmsten, C.O. Grantham, H.S. Lipkind, C.M. Ackerman-Banks // Health Serv Res. – 2023. – Vol. 59. – P. e14247. DOI: 10.1111/1475-6773.14247
6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – URL: https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=25076 (дата обращения: 20.05.2025).

Роль красного мяса в патогенезе колоректального рака

О.А. Степанова, Н.А. Батенев, К.О. Кузьмин

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана»,
г. Мытищи, Россия

Работа посвящена исследованию взаимосвязи развития колоректального рака с потреблением красного и переработанного мяса. В ходе изучения современных зарубежных данных по этому вопросу было установлено, что, несмотря на то, что до сих пор не выявлена точная причина взаимосвязи между развитием колоректального рака и потреблением красного и переработанного мяса, были сформированы основные гипотезы, объясняющие канцерогенность красного мяса. Также были установлены механизмы, способствующие снижению риска развития колоректального рака при употреблении красного мяса (способ приготовления, изменение рецептуры приготовления, разумное потребление мяса и т.д.).

Ключевые слова: колоректальный рак, красное мясо, питание.

Колоректальный рак – заболевание, характеризующееся поражением злокачественной опухолью толстого или прямого кишечника. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), колоректальный рак – один из самых распространенных видов рака [1]. Клинические симптомы данного заболевания зависят от локализации и особенностей роста новообразования, тем не менее частыми признаками являются такие проявления, как: астения, общее недомогание, повышенная утомляемость, снижение аппетита, наличие неприятного привкуса в ротовой полости, эруктация, тошнота, рвота, метеоризм, а также ощущение тяжести в эпигастральной области.

На ранних стадиях данное заболевание может протекать бессимптомно, что усложняет его диагностику. Среди ранних симптомов колоректального рака нередко выделяют абдоминальные боли, которые проявляются более интенсивно при локализации опухоли в левых отделах кишечника (в частности, в ободочной кишке). Высокая летальность и широкое распространение данного заболевания делают профилактику колоректального рака особенно важной.

Цель – изучение современных данных о влиянии употребления красного и переработанного мяса на развитие колоректального рака.

Материалы и методы исследования. В ходе исследования был проведен анализ релевантных зарубежных источников литературы, а также открытых баз данных. Поиск литературы проводился в научных библиотеках PubMed, Google Scholar и др. по ключевым запросам.

Согласно многочисленным исследованиям, употребление красного мяса является фактором риска развития колоректального рака. Под термином «красное мясо» подразумевается говядина, свинина, баранина, козлятина, конина, а также некоторые

части птиц (например, бедра и голень). Международное агентство по изучению рака (IARC) и ВОЗ отнесли красное мясо к вероятным канцерогенам (группа 2A), а переработанное мясо (мясо, которое было обработано, как правило, путем жарки, соления, копчения или добавления консервантов и т.д.) – к канцерогенам (группа 1).

Согласно рекомендациям Всемирного фонда исследования рака (WRCF) и Американского института исследований рака (AICR), умеренное потребление красного мяса не должно превышать 500 граммов в неделю в целях снижения онкологических рисков [2]. Тем не менее механизмы, приводящие к развитию рака при употреблении красного мяса, до конца не изучены. Есть несколько гипотез, объясняющих канцерогенность данных продуктов.

Механизмы канцерогенности. Патогенез колоректального рака может быть связан с рядом диетических факторов, включая дисбаланс нутриентов (избыток жиров и белков), формирование мутагенных соединений при термическом воздействии на мясо. Отдельного внимания заслуживает возможность образования экзогенных химических соединений в процессе кулинарной обработки мясных продуктов, способных инициировать канцерогенез.

Современные исследования указывают на существенную роль способов кулинарной обработки мяса в модуляции его канцерогенных свойств. Научно подтверждено, что использование высокотемпературных методов приготовления (таких как жарка на открытом огне или гриль) приводит к образованию гетероциклических аминов – соединений с выраженной мутагенной активностью. Параллельно, в процессе копчения или интенсивной термической обработки с образованием поджаристой корочки, происходит синтез полициклических ароматических углеводородов, отнесенных Международным агентством по изучению рака к веществам с доказанной канцерогенностью для человека [3].

Указанные химические соединения, формирующиеся при определенных режимах термического воздействия на мясные продукты, рассматриваются в качестве значимых патогенетических факторов, способствующих развитию онкологической патологии, в частности, злокачественных новообразований толстого кишечника. Механизм их действия связан с непосредственным повреждающим воздействием на клеточный геном и индукцией неопластической трансформации эпителиальных клеток пищеварительного тракта.

Согласно еще одной гипотезе, канцерогенез вызван не столько потреблением самого красного мяса, сколько диетой с высоким содержанием жира. Была выявлена связь между потреблением жиров и жирных кислот с пищей и риском развития колоректального рака. Тем не менее получить весомые доказательства связи потребления жира из мяса с развитием колоректального рака пока не удалось [3].

Одним из главных кандидатов на объяснение причины канцерогенного действия красного мяса является гемовое железо. Оно может способствовать образованию канцерогенных N-нитрозосоединений и увеличению пролиферации клеток в слизистой оболочке кишечника [4].

Зачастую в мясо или мясные продукты (полуфабрикаты, копчености и т.д.) добавляют нитраты и нитриты. Были проведены исследования, согласно которым установлено, что нитраты и нитриты в этих изделиях при попадании в организм могут

приводить к образованию канцерогенных N-нитрозосоединений. N-нитрозосоединения не только могут образовываться эндогенно, но и уже содержатся в различных полуфабрикатах (например, в беконе). Канцерогенное влияние N-нитрозосоединений довольно неплохо изучено, есть данные, что они могут быть связаны не только с колоректальным раком, но и с другими видами рака [3].

Механизмы, нивелирующие канцерогенность. В то время как одни продукты могут увеличивать риск развития канцерогенеза, другие продукты способны его снижать. Молоко, вероятно, снижает риск развития колоректального рака ввиду большого содержания в нем кальция [5]. Продукты, содержащие значительные количества пищевых волокон, обладают протективным эффектом в отношении колоректального рака, частично за счет способности связывать и снижать биодоступность гетероциклических аминов в желудочно-кишечном тракте. Кроме того, антиоксидантные витамины С и Е демонстрируют способность подавлять эндогенный синтез N-нитрозосоединений – потенциально канцерогенных веществ, образующихся в процессе азотистого метаболизма.

Выводы. Многочисленные исследования подтверждают, что высокое потребление красного и переработанного мяса могут способствовать развитию колоректального рака. В отношении этого вопроса было проведено много научных работ, благодаря которым были сформированы различные гипотезы о механизме канцерогенного действия мяса. Тем не менее не стоит забывать, что мясо – незаменимый источник питательных веществ, который крайне проблематично исключить из рациона и заменить чем-то другим. Потребление мяса в разумных количествах, его правильная обработка и готовка, а также составление грамотного рациона с добавлением компонентов, ингибирующих возможные пути канцерогенеза, может являться действенным методом снижения потенциального риска развития рака.

Список литературы

1. Колоректальный рак [Электронный ресурс] // Всемирная организация здравоохранения: официальный сайт. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/colorectal-cancer> (дата обращения: 18.06.2025).
2. World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. Diet, Nutrition, Physical Activity and Cancer: A Global Perspective. – London: World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, 2018.
3. Ferguson L.R. Meat and cancer // Meat Sci. – 2010. – Vol. 84 (2). – P. 308–13. DOI: 10.1016/j.meatsci.2009.06.032
4. Abid Z., Cross A.J., Sinha R. Meat, dairy, and cancer // Am J Clin Nutr. – 2014. – Vol. 100, 1(1). – P. 386S–393S. DOI: 10.3945/ajcn.113.071597
5. WCRF/AICR. Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective. – Washington, DC: WCRF/AICR, 2007.

Оценка зрелости системы управления рисками на этапе планирования контрольно-надзорной деятельности на примере Ульяновской области

М.А. Суханов

Управление Федеральной службы в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ульяновской области,
г. Ульяновск, Россия

В статье анализируются риски, возникающие при формировании планов проведения контрольно-надзорных мероприятий и согласовании с органами прокуратуры ежегодных планов проведения контрольно-надзорных мероприятий, начиная с периода действия Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля».

Ключевые слова: единый реестр проверок, отказ по основанию, план проведения плановых проверок.

Управление рисками здоровью населения, как охраняемой ценности, определяемое пунктом 4 статьи 22 Федерального закона от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», осуществляется на основе оценки рисков причинения вреда (ущерба), профилактических мероприятий и контрольных (надзорных) мероприятий в целях обеспечения допустимого уровня риска причинения вреда (ущерба) в соответствующей сфере деятельности [1]. Основным инструментом для управления рисками здоровью населения в сфере санитарно-эпидемиологического благополучия человека является планирование в рамках федерального государственного санитарно-эпидемиологического контроля (надзора), осуществляемого, в первую очередь, в форме плановых контрольно-надзорных мероприятий, которые основываются на отнесении субъекта надзора к конкретному классу опасности для установления периодичности плановых проверок; при этом дифференциация объектов надзора и / или видов деятельности в рамках одного хозяйствующего субъекта является основанием для планирования объемов и содержания надзорных мероприятий [2].

Формирование плана осуществляется в виде ежегодных планов проведения контрольно-надзорных мероприятий (далее – КНМ) юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, согласуемого в дальнейшем с органами прокуратуры. Использование риск-ориентированного подхода при осуществлении государственного контроля (надзора) позволяет достигать одновременно двух основных целей: повышение как эффективности контрольно-надзорной деятельности, так и достаточности условий ведения бизнеса.

Задачи исследования. Планирование деятельности является одним из основных функций учреждений Роспотребнадзора, причем как территориальных органов, так и федеральных бюджетных учреждений. Для обоснованной и управленчески

продуктивной трактовки риска необходимо исследовать стадию выбора решения в развитии организации в условиях неясности будущих событий. Риск заключается в управленческих действиях (процессе принятия решения и его реализации) [3]. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2019 г. № 1379-ст) под риском принимает следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей [4]. В данном контексте целесообразно рассматривать ежегодный план проведения плановых проверок как проект, подлежащий рискам на всех этапах планирования. Технические погрешности, издержки некачественного ведения базы данных хозяйствующих субъектов остались в прошлом после внедрения последних версий единого реестра контрольных (надзорных) мероприятий.

Риском невыполнения плана по-прежнему остается ликвидация объектов и субъектов надзора в период с начала формирования плана и наступлением собственнo КНМ. Еще одним из значимых рисков является согласование ежегодных планов проведения контрольно-надзорных мероприятий органами прокуратуры.

Результаты и их обсуждение. После вступления Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» (далее 294-ФЗ от 26 декабря 2008 г.) в силу (с 01.05.2009) наступил период, когда ежегодный план проведения плановых проверок в целях соблюдения баланса рисков согласовывается с органами прокуратуры.

294-ФЗ от 26 декабря 2008 г. регламентировал направление в органы прокуратуры проектов планов к 01 сентября, и после получения с исключениями и замечаниями до 01 ноября года, предшествующего году проведения плановых проверок, уже утвержденных ежегодных планов проведения плановых проверок.

Тщательное планирование, с выверкой поднадзорных субъектов и объектов для включения в план, осуществляется 2–3, а то и 4 месяца. Первым из факторов неопределенности или отклонением от ожидаемого результата или события стало привычное изменение правил, формы, формата или процедуры непосредственно перед направлением плана проведения проверок (первоначально перед 01 сентября), выдвигаемое территориальными органами прокуратуры. Так, например, письмо «О правилах подготовки плана на 2011 год» с определением формата предоставления ежегодного плана получено Управлением 24.08.2010, «О правилах подготовки плана на 2012 год» – 26.08.2011, и на 2013 г. – 27.08.2012.

В этот период, не более чем за неделю, фактически менялись правила внесения данных по субъектам и объектам в части их правописания, адресов юридического и фактических для объектов и др. Например, в первом варианте объекты размещались построчно, а после получения шаблона Excel на проектируемый год перед 01 сентября адреса фактического осуществления деятельности укладывались в одну ячейку. Надо отметить, что ежегодные планы проведения плановых проверок Управления Роспотребнадзора по Ульяновской области (далее – Управление) и отдельно каждого территориального отдела рассматривались до 2023 г., когда получилась ситуация, что были согласованы проверки и на четвертый квартал по одному из территориальных отделов, на чем и закончился период раздельного планирования КНМ.

В принципе и до настоящего времени остается риск экстренной адаптации, переформатирования готового плана. Достаточно взглянуть на раздел «Новости» ФГИС «Единый реестр контрольных (надзорных) мероприятий». «24.09.24 Зафиксирован сбой в работе раздела «Импорт / экспорт» (надо отметить, очень важная функция, так как при нестабильной работе можно подгрузить подписанный ЭЦП-план); 17.09.24 Размещаем обновленную инструкцию по подписанию паспортов КНМ и ПМ (включена новая дополнительная функция для каждого мероприятия, то есть необходимо вручную перебрать все заведенные карточки КНМ); 29.09.23 Уведомляем Вас о вступивших изменениях в файлах экспорта и импорта полного плана в ФГИС ЕРКНМ...». Срок предоставления в настоящее время, в связи с принятием Федерального закона от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации», устанавливается Постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 2428 «О порядке формирования плана проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий на очередной календарный год, его согласования с органами прокуратуры, включения в него и исключения из него контрольных (надзорных) мероприятий в течение года», а именно пунктом 9, который звучит так: «Проект ежегодного плана до 1 октября года, предшествующего году реализации ежегодного плана, представляется на согласование в органы прокуратуры, определенные в соответствии с приказом Генерального прокурора Российской Федерации».

Вторым, вероятно, более важным фактором неопределенности на достижение поставленных целей остается субъективное рассмотрение законности планируемых КНМ на следующий год органами прокуратуры.

В плане на 2011 год неожиданными стали исключения всех проверок, для которых не наступили бы основания на 31.12.2010 года (не истекло 3 года со дня регистрации хозяйствующего субъекта или даты последней проверки), то есть отсчет необходимо производить с 01 января следующего года после регистрации хозяйствующего субъекта или даты последней проверки. Предыдущий ежегодный план проведения плановых проверок (на 2010 год) имел прямое исчисление дат.

В плане одного из территориальных отделов на 2015 год было исключено 12 проверок с формулировкой «В нарушение ст. 13 Закона № 294-ФЗ проверка включена в проект плана более одного раза». Планировалось проведение проверок в отношении организаций среднего и общего образования и летних оздоровительных учреждений при них в период каникул, при этом к наименованию юридического лица добавлялось «Летнее оздоровительное учреждение при...». Проведение КНМ в отношении образовательных организаций, осуществляющих деятельность детских лагерей во время каникул, было отклонено. Это своего рода было пробным камнем, и в планах на 2017 г. всеми прокуратурами, рассматривающими планы Управления и его территориальных отделов, уже было исключено с формулировкой «ЮЛ включено в план более одного раза» 183 образовательные организации, осуществляющие деятельность по организации отдыха детей и их оздоровления, в том числе лагеря с дневным пребыванием. В том же плане на 2017 год дополнительно исключены 57 организаций, осуществляющих оказание амбулаторно-поликлинической медицинской помощи, «по ч. 1 ст. 26.1 Закона № 294-ФЗ запланирована проверка субъекта малого предпринимательства».

Пункт 1 статьи 26.1. «Особенности организации и проведения в 2016–2018 гг. плановых проверок при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля в отношении субъектов малого предпринимательства» имел следующую редакцию: «Если иное не установлено частью 2 настоящей статьи, с 1 января 2016 года по 31 декабря 2018 года не проводятся плановые проверки в отношении юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, отнесенных в соответствии с положениями статьи 4 Федерального закона от 24 июля 2007 года № 209-ФЗ «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» к субъектам малого предпринимательства, за исключением юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, осуществляющих виды деятельности, перечень которых устанавливается Правительством Российской Федерации в соответствии с частью 9 статьи 9 настоящего Федерального закона». Следствием такого подхода стало сокращение плановых проверок в 2017 г. на 28,8 % в сравнении с планом на 2016 г.

Особенным по формату исключения стал план на 2019 г., когда основное количество исключенных проверок произошло в январе 2019 г. Было исключено более 38 % проверок с формулировкой: нарушен «Пункт 11 Правил отнесения деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей и (или) используемых ими производственных объектов к определенной категории риска или определенному классу (категории) опасности, утв. постановлением Правительства РФ от 17.08.2016 № 806». Для сравнения: в плане на 2018 г. было исключено 5,5 %.

В планах на 2021 г. территориальных отделов и Управления наибольшее количество отклонений от согласования имели формулировку «Недостоверное наименование организационно-правовой формы у предпринимателей». Такая формулировка была отмечена в плане только одного территориального отдела. Разъяснения следующие: наряду с ФИО в графе «Наименование проверяемого лица (ЮЛ, ИП, ОГВ, ФИО гражданина), деятельность которого подлежит проверке» необходимо было указывать перед ФИО «Индивидуальный предприниматель». ФГИС «Единый реестр контрольных (надзорных) мероприятий» (далее – ЕРКНМ), так же как и ФГИС «Единый реестр проверок», не указывает на необходимость такого расширения наименования.

В ежегодных планах на 2022 г. прокуратурой были исключены все проверки, начинать которые планировалось после 01 сентября 2022 г.

Исключено из плана на 2023 г. по основанию «Проведение проверки в отношении образовательной организации (п. 11.4 Постановления от 10.03.2022 № 336)» 305 проверок объектов, осуществляющих деятельность по организации отдыха детей и их оздоровления, в том числе лагеря с дневным пребыванием, из общего количества 840 проверок или 36,3 %. В то же время этот пункт в редакции постановления Правительства РФ от 1 октября 2022 г. № 1743 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 10 марта 2022 г. № 336» гласил: «11.4. В планы проведения плановых контрольных (надзорных) мероприятий на 2023 г. не включаются плановые контрольные (надзорные) мероприятия в отношении государственных и муниципальных учреждений дошкольного и начального общего образования, основного общего и среднего общего образования, объекты контроля которых отнесены к категориям чрезвычайно высокого и высокого риска, а в отношении таких учреждений может проводиться профилактический визит продолжительностью один день, не предусматривающий возможность отказа от его проведения». То есть деятельность по организации отдыха детей и их оздоровления не указывается.

В плане КНМ на 2024 год исключено 389 проверок из 519. По основаниям: «вопреки п. 11 постановления Правительства РФ от 27.10.2021 № 1844 предмет проверки предусматривает оценку соблюдения обязательных требований, которые не предусмотрены проверочным листом, что свидетельствует о неправомерном расширении предмета проверки; вопреки постановлению Правительства РФ от 27.10.2021 № 1844 проверочные листы не содержат полный перечень контрольных вопросов». При этом сотрудники (другие) органов прокуратуры, рассматривающие планы позднее, на 2025 год, посчитали такое не приемлемым (необоснованным законодательно). Особенно неутешительным прогнозом становится предупреждение органов прокуратуры об обязательном проценте исключения проверок из планов КНМ. Принимая во внимание высокую трудоемкость работы с ЕРКНМ, это не может являться стимулирующим фактором для специалистов, осуществляющих соответствующие виды работ.

Изучая результаты влияния факторов на планирование КНМ за 15-летний период, необходимо все же оценить возможность влияния Управления как системы по управлению рисками. Для этого разработано достаточно моделей: модель зрелости управления рисками KPMG, RIMS, Deloitte, IMA и др.

Пройдем оценку в формате корпоративного стандарта госкорпорации «Росатом» (далее – Стандарт), который содержит в том числе и рекомендации по выполнению ежегодной самооценки владельцами рисков действующих процедур управления рисками.

Согласно Стандарту самооценка зрелости / эффективности системы по управлению рисками выполняется в разрезе четырех основных процедур, выполняемых экспертно, по управлению рисками:

- выявление (идентификация) рисков;
- оценка рисков;
- разработка и реализация мероприятий;
- мониторинг и контроль.

Модель описывает четыре уровня развития системы: базовый уровень, развивающийся уровень, сформированный уровень и передовой уровень [5].

Идентификация рисков. Рисками, по мнению автора, являются:

1. Отсутствие необходимой квалификации и навыков у специалистов, осуществляющих операторские работы на стадии создания реестров, стадии интерпретации данных, собственно формирования планов (не согласованы сроки и даты начала проведения проверок с другими органами государственного контроля (надзора), муниципального контроля; деятельность ЮЛ и ИП, включенных в проект ежегодного плана проведения плановых проверок, не входит в компетенцию территориальных органов Роспотребнадзора, наступление основания для проведения части проверок в более поздний период; несоблюдение сроков проведения проверки ЮЛ, филиалы, представительства и обособленные подразделения которого находятся на территориях разных субъектов Российской Федерации; не учтены результаты проводимых за последние 3 года внеплановых проверок субъектов предпринимательской деятельности, проверки которых включены в план, соблюдения ими обязательных требований законодательства Российской Федерации, а также оценки потенциального риска

причинения вреда, связанного с осуществляемой деятельностью; неверное указание названия ЮЛ, ИП, адресов; иные и др.).

2. Недостаток времени, приводящий к техническим ошибкам.

3. Ликвидация предприятий и организаций, ликвидация объектов надзора.

4. Технические возможности информационных систем, на которые отсутствует возможность влияния.

5. Изменение правил ведения реестров после внесения планов.

6. Согласование плана КНМ с органами прокуратуры.

Оценка рисков. Ежегодно проводится детальный анализ ошибок и просчетов при составлении плана КНМ еще до анализа, представляемого центральным аппаратом Роспотребнадзора. Технический брак и невнимательность (пункт 1, пункт 2) составляли не более 4 %, ликвидация предприятий и организаций никогда не превышала 1 %. Основная доля исключений приходится на «Иные причины», которые в целом изложены в настоящей статье, и достигает 80 % в последние годы.

Разработка и реализация мероприятий. Ежегодно, не позднее июня месяца, издается приказ о подготовке плана проведения плановых проверок на следующий год, где детально расписываются все этапы подготовки плана, форматы взаимодействия отделов, устанавливаются конкретные сроки, назначаются ответственные за внесение данных в шаблоны и реестры (базы), представление и опубликование, взаимодействие Управления Роспотребнадзора по Ульяновской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ульяновской области». Ежегодно вносятся коррективы, включающие новые требования и форматы с учетом анализа подготовки предыдущего плана. Соответственно, эта процедура отрабатывается полностью.

Мониторинг и контроль. Мониторинг, и соответственно контроль, осуществляется еженедельно в формате, например, «Приложение_**_plan proverok», разработанном ФЦГиЭ Роспотребнадзора. Последние две недели мониторинг подготовки плана осуществляется ежедневно.

По наполняемости процедур уровень развития системы можно оценить как сформированный, по результату – как базовый.

Центральный аппарат всегда ощутимо помогал территориальным управлениям в части восполнения выпадающего объема контрольно-надзорных мероприятий. Небольшая часть для примера: приказы от 04.04.2013 № 187, от 25.02.2015 № 128, от 10.03.2016 № 162, от 26.03.2018 № 167, и действующий в настоящее время приказ от 16.10.2020 № 723 «О проведении внеплановых проверок образовательных организаций и их поставщиков пищевых продуктов». Серьезная работа центральным аппаратом Роспотребнадзора проводится по внедрению непосредственного формирования планов КНМ из реестра хозяйствующих субъектов Единой информационно-аналитической системы Роспотребнадзора.

Выводы. Основным значимым риском при планировании контрольно-надзорных мероприятий остается согласование плана с органами прокуратуры. Резервы по улучшению ситуации, учитывая более чем 15-летнюю историю вопроса, территориальными органами можно считать исчерпанными. Необходимые процедуры проводятся в полном объеме. Выход с формированием планов централизованно на основе программного продукта ЕИАС, реализуемый в настоящее время Роспотребнадзором, может кардинально улучшить ситуацию с планированием КНМ.

Список литературы

1. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федеральный закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/ (дата обращения: 13.07.2025).
2. Научно-методические подходы к классификации хозяйствующих субъектов по риску причинения вреда здоровью граждан для задач планирования контрольно-надзорных мероприятий / А.Ю. Попова, Н.В. Зайцева, И.В. Май, Д.А. Кирьянов, А.С. Сбоев // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 4. – С. 4–13.
3. Авдийский В.И., Безденежных В.М., Катаева Е.Г. Управление рисками как ключевой элемент обеспечения реализации риск-ориентированного подхода в деятельности хозяйствующих субъектов // Экономика. Налоги. Право. – 2017. – № 6. – С. 6–15.
4. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство / утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2019 г. № 1379-ст. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
5. Брыкалов С.М., Кузнецова Н.А., Трифонов В.Ю., Трифонов Ю.В. Оценка эффективности и зрелости системы управления рисками на предприятии // Фундаментальные исследования. – 2021. – № 3. – С. 17–26.

Оценка интегральных уровней риска здоровью населения, формируемых в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха

А.А. Хасанова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Предложены подходы, позволяющие провести расчёт, категорирование и оценку приемлемости интегральных уровней риска для здоровья населения, формируемых в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха. В ходе апробации на примере г. Перми рассчитаны интегральные уровни риска для здоровья населения по классу болезни системы кровообращения (БСК), ассоциированные с совместным влиянием волн тепла в 2020 г. и обусловленного ими увеличения среднесуточных концентраций оксида углерода. Для населения старше трудоспособного возраста интегральный уровень риска категоризируется

как неприемлемый ($1,25 \cdot 10^{-4}$), а для населения трудоспособного возраста как приемлемый уровень ($8,16 \cdot 10^{-6}$).

Ключевые слова: метеорологические факторы, химическое загрязнение атмосферного воздуха, интегральные уровни риска, оценка риска здоровью населения, сочетание действие.

Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха и глобальные климатические изменения формируют новые вызовы для системы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Последствия изменения климата могут способствовать развитию широкого спектра рисков для здоровья населения, обусловленных как прямым действием метеорологических факторов на здоровье населения, так и их влиянием на изменение состава и концентраций химических веществ в атмосферном воздухе [1]. К вероятным механизмам можно отнести влияние изменения температуры атмосферного воздуха на скорость протекания химических реакций, влажности воздуха – на образование и разрушение химических соединений, облачности – на состав атмосферы, приземной температуры и осадков – на выбросы и осаждение химических соединений, изменения интенсивности приземного ветра над континентом – на подвижность пылевых частиц в засушливых районах и, следовательно, аэрозольную нагрузку в тропосфере и др. [2, 3]. Метеорологические факторы определяют условия рассеивания и переноса примесей, инициируют фотохимические реакции образования вторичных загрязнителей, влияют на летучесть и биодоступность токсикантов. Они подвержены большой изменчивости как во времени, так и в пространстве, обеспечивая условия переноса, трансформации, накопления и рассеивания загрязняющих веществ [4, 5].

Таким образом, метеорологические факторы вносят вклад в формирование рисков для здоровья населения как напрямую, так и опосредованно – путем изменения характеристик химического загрязнения атмосферного воздуха. Для создания условий сохранения здоровья населения необходима оценка риска для здоровья, позволяющая количественно охарактеризовать риск в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими изменения химического загрязнения атмосферного воздуха.

Цель – предложить и апробировать подходы к оценке риска для здоровья населения в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Материалы и методы. В качестве методического базиса при разработке подходов к оценке риска здоровью населения, формирующегося в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, были использованы основные положения МР 2.1.10.0057-12 «Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска» (далее МР 2.1.10.0057-12) и Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания» (далее Р 2.1.10.3968–23) [6, 7].

Апробация предлагаемых подходов была проведена на примере г. Перми. В качестве исходной информации по метеорологическим параметрам были использо-

ваны данные по показателю средней за сутки температуры атмосферного воздуха (°C) для г. Перми за 2020 г., которые были получены из Единого Государственного Фонда данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [8]. В качестве исходных данных по заболеваемости населения использовались деперсонифицированные показатели территориального фонда обязательного медицинского страхования (ТФОМС) о посуточном количестве обратившихся за медицинской помощью и застрахованных в г. Перми за 2020 г. в разрезе возрастных групп (трудоспособные, старше трудоспособного) по выделенным нозологическим формам. Для достижения поставленной цели были рассчитаны периоды, относящиеся к волнам тепла в соответствии с методикой, изложенной в МР 2.1.10.0057-12 [6]. В качестве исходных данных о среднесуточных концентрациях химических веществ в атмосферном воздухе были использованы материалы, полученные от Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю.

Результаты. Предложены подходы к оценке рисков для здоровья населения, формирующихся в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, включающие в себя последовательное выполнение следующих этапов:

- 1) расчёт индивидуальных уровней риска здоровью населения, обусловленных влиянием метеорологических факторов;
- 2) установление уровней риска здоровью населения, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха химическими веществами в условиях модифицирующего влияния метеорологических факторов;
- 3) интегрирование рисков для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Расчёт индивидуальных уровней риска здоровью населения, обусловленных влиянием метеорологических факторов, предусматривает проведение идентификации опасности, анализа зависимости «экспозиция–ответ», оценки экспозиции и характеристики уровней риска для здоровья населения [9].

На этапе идентификации опасности устанавливаются приоритетные метеофакторы, которые могут стать причиной формирования риска для здоровья населения. В качестве критериев приоритетности для включения в дальнейшую оценку риска рекомендуется использовать: наличие исходных данных о значениях показателей метеофактора для анализируемой территории за необходимый промежуток времени, значимость фактора для населения, проживающего на анализируемой территории (значения показателя выходят за пределы установленных диапазонов комфорта или пороговых уровней), наличие данных о вероятных ответах со стороны здоровья населения, обусловленных влиянием анализируемых метеофакторов и их показателей.

На этапе оценки зависимости «экспозиция–эффект (ответ)» устанавливаются количественные показатели, описывающие связи между уровнями экспозиции метеорологических факторов и вероятными ответами. Они могут быть представлены в виде эпидемиологических показателей (например, показатель относительного риска RR) и показателей, полученных по результатам математического моделирования зависимости «экспозиция–ответ» (величина коэффициента регрессии). В качестве

видов экспозиции метеофакторов может быть использована величина показателя, характеризующего метеофактор (в °С, мм рт. ст., % и др.) или биоклиматический индекс (в единицах индекса) (E_s), его вариации (например, количество °С выше порога, определяемого как волна жары, или количество °С за пределами диапазона, характеризующего отсутствие температурного стресса) (ΔE_v), повторяемости вариаций показателя (E_p) или периода времени, в течение которого величина показателя или биоклиматического индекса находилась в диапазоне действующих уровней (E_t).

На этапе оценки экспозиции осуществляется количественная оценка уровней экспозиции метеофакторов в зависимости от её вида. Если экспозиция представлена в виде E_s , то величина экспозиции представляет собой величину показателя, осредненную за период времени t (месяц, год и др.); если ΔE_v – то величина экспозиций рассчитывается как разность между фактической величиной показателя и величиной, соответствующей значению ближайшей границы диапазона действующих уровней; если E_t – то уровень экспозиции представляет собой продолжительность периода, во время которого величина показателя находилась в данном диапазоне; если E_p – то величина экспозиции рассчитывается как суммарное число вариаций в течение определенных периодов времени.

На этапе характеристики риска осуществляется определение количественных величин индивидуальных уровней риска, ассоциированных с влиянием метеофакторов, на основе вероятности изменения состояния здоровья населения. Их расчёт представляет собой произведение вероятности нарушений здоровья населения, связанных с действием метеофактора, и тяжести установленных ответов для каждого из видов нарушений здоровья. Вероятность нарушений здоровья рассчитывается как произведение уровня экспозиции метеофактора (E_s , ΔE_v , E_t , E_p) и соответствующего показателя, характеризующего зависимость между уровнями экспозиции метеофакторов и вероятными ответами. Показатель тяжести определяется в виде коэффициента из диапазона от 0 до 1 [7, 10].

По результатам реализации указанных этапов должны быть рассчитаны величины индивидуальных уровней риска, обусловленного влиянием метеофакторов.

Установление уровней риска здоровью населения, обусловленных загрязнением атмосферного воздуха химическими веществами в условиях модифицирующего влияния метеорологических факторов, осуществляется в соответствии со следующими этапами:

- 1) установление приоритетных метеорологических факторов, способных оказывать влияние на увеличение содержания химических веществ в атмосферном воздухе, и перечня данных веществ;
- 2) определение концентраций химических веществ, ассоциированных с влиянием метеорологического фактора;
- 3) расчёт уровней риска для здоровья населения, обусловленного модифицирующим влиянием метеорологических факторов на концентрации химических веществ в атмосферном воздухе.

В качестве приоритетных метеорологических факторов рассматриваются те, которые способны приводить к увеличению концентраций химических веществ в атмосферном воздухе и для которых значения величин определяющих их показателей достоверно отличаются от средних значений величин, характерных для данной тер-

ритории за анализируемый период времени, или выходят за пределы установленных оптимальных диапазонов. Кроме того, устанавливаются величины, характеризующие порог/диапазон действия метеорологического фактора, за пределами которого, по данным анализа литературы, не происходит его влияния на содержание химических веществ в атмосферном воздухе.

Далее рассчитываются концентрации химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, обусловленные влиянием метеорологических факторов, выделенных в качестве приоритетных. Для этого устанавливается анализируемый временной период, который будет включать в себя те дни / недели / месяцы, в течение которых наблюдались изменения метеорологических факторов и их показателей, способных привести к увеличению концентраций химических веществ в атмосферном воздухе («неблагоприятные периоды»), и периоды, во время которых, вероятно, не происходит воздействия на концентрации химических веществ («благоприятные периоды»). Также необходимо определить фактические концентрации химических веществ, входящих в перечень веществ, установленных на первом этапе, для каждого из дней, входящих в каждый из периодов. Далее рассчитывается разница между концентрациями химических веществ в те дни, которые относятся к «неблагоприятным» и «благоприятным» периодам, что и будет рассматриваться в качестве концентрации, обусловленной влиянием метеорологических факторов.

Расчёт уровней риска для здоровья населения, обусловленного модифицирующим влиянием метеорологических факторов на концентрации химических веществ в атмосферном воздухе, осуществляется в соответствии с Р 2.1.10.3968-23 на основе установленных уровней экспозиции и параметров связей «экспозиция–ответ» для каждого из анализируемых химических веществ. В качестве значений экспозиции используются концентрации химических веществ, обусловленные влиянием метеорологического фактора, рассчитанные на втором этапе.

Интегрирование рисков для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

Для интегрирования рассчитанных уровней рисков проводится выделение органов и систем, на которые оказывают совместное влияние и метеорологический фактор, и химические вещества, концентрации которых изменяются под его влиянием. Для каждого из установленных органов и систем проводится расчёт интегрального риска для здоровья населения в соответствии с формулой.

$$R_{\text{инт. п}} = 1 - (1 - R_{\text{кл. п}}) * (1 - R_{\text{хим. п}}),$$

где $R_{\text{инт. п}}$ – интегральный уровень риска для здоровья населения, обусловленный влиянием на органы/системы органов n ;

$R_{\text{кл. п}}$ – уровень риска для здоровья населения, обусловленный влиянием метеорологических факторов;

$R_{\text{хим. п}}$ – уровень риска для здоровья населения, обусловленный загрязнением атмосферного воздуха химическими веществами под влиянием метеорологических факторов.

Характеристика интегрального уровня риска и его приемлемости осуществляется в соответствии со шкалой категорирования уровней риска: $1,0 \cdot 10^{-6}$ и менее – минимальный уровень риска; $1,1 \cdot 10^{-6}$ – $1,0 \cdot 10^{-4}$ – допустимый (приемлемый) уровень риска; $1,1 \cdot 10^{-4}$ – $1,0 \cdot 10^{-3}$ – настораживающий уровень риска; $> 10^{-3}$ – высокий уровень риска. Настораживающий и высокий уровни риска характеризуются как неприемлемые, при установлении которых целесообразно рекомендовать разработку мер по предупреждению нарушений и созданию условий сохранения здоровья населения [11].

Таким образом, предложенные подходы позволяют провести расчёт и категорирование интегральных уровней риска для здоровья населения, формируемых в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха.

По результатам апробации на примере оценки риска здоровью населения, формирующегося в условиях влияния температуры атмосферного воздуха в виде волн тепла и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, на этапе идентификации опасности установлено, что в г. Перми в 2020 г. наблюдалось две волны тепла. В качестве ответов со стороны здоровья населения, в условиях их влияния, по данным анализа литературы, могут быть использованы болезни системы кровообращения (БСК), а именно – болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением (I10-I15), ишемическая болезнь сердца (I20-I25), другие болезни сердца (I49-I50) и цереброваскулярные болезни (I60-I64) [12–16]. Определено, что наиболее чувствительными группами населения будут являться взрослое население трудоспособного и старше трудоспособного возраста [12, 15].

По результатам идентификации опасности, температура атмосферного воздуха, в виде волн тепла, может быть включена в дальнейшую оценку риска. В качестве вероятных ответов целесообразно использовать БСК, в рамках выделенных нозологических форм. На этапе анализа зависимости «экспозиция–ответ» в качестве значения экспозиции, которое, вероятно, не приводит к возникновению неблагоприятных эффектов для здоровья населения, обусловленных влиянием волн тепла для данной территории, была установлена величина $27,5^{\circ}\text{C}$. Показатели дополнительной вероятности заболеваемости на 1 человека в сутки на каждый 1°C увеличения температуры в рамках волны тепла для взрослого населения трудоспособного возраста составили $4,00 \cdot 10^{-7}$ для гипертензивной болезни сердца (I11) и для группы цереброваскулярных болезней (I60-I69), а для населения старше трудоспособного возраста – $7,60 \cdot 10^{-6}$ для болезней, характеризующихся повышенным кровяным давлением (I10-I15), $2,00 \cdot 10^{-8}$ – для инсульта, не уточненного как кровоизлияние или инфаркт (I64), и $4,30 \cdot 10^{-6}$ для ишемической болезни сердца (I20-I25). Рассчитанные показатели дополнительной вероятности заболеваемости для отдельных групп нозологических форм для дальнейшего расчёта уровней риска были объединены в класс БСК, при этом показатели вероятности суммировались.

В г. Перми в 2020 г. установлено наличие двух волн тепла продолжительностью 5 и 3 дня соответственно. Среднесуточная температура воздуха для каждого из дней, входящих в волну тепла, была сопоставлена со средней температурой, определяемой для данной территории как волна тепла ($27,5^{\circ}\text{C}$). Посуточные превышения составили от $1,0^{\circ}\text{C}$ до $3,6^{\circ}\text{C}$. Дополнительная вероятность заболеваемости, обусловленная

волнами тепла, за год по классу БСК для взрослого населения трудоспособного возраста составила $1,36 \cdot 10^{-5}$, а для взрослого населения старше трудоспособного возраста – $2,16 \cdot 10^{-4}$. Уровни риска развития заболеваний по данному классу составили $7,86 \cdot 10^{-6}$ и $1,25 \cdot 10^{-4}$ соответственно.

По результатам анализа данных научной литературы установлены достоверные причинно-следственные связи увеличения концентраций диоксида азота, оксида углерода, взвешенных веществ и серы диоксида с периодами волн тепла [6, 17, 18]. Рассчитано, что температура атмосферного воздуха в условиях волн тепла на анализируемой территории привела к увеличению концентраций азота диоксида (концентрация составила $0,03 \text{ мг/м}^3$ в стандартных условиях и $0,04 \text{ мг/м}^3$ – в условиях волн жары), оксида углерода ($1,11 \text{ мг/м}^3$ и $1,83 \text{ мг/м}^3$ соответственно) и взвешенных веществ ($0,13 \text{ мг/м}^3$ и $0,16 \text{ мг/м}^3$ соответственно). Концентрации диоксида серы не изменились. Посуточные концентрации оксида углерода, обусловленные влиянием волн тепла, составили от 0,05 до $0,52 \text{ мг/м}^3$.

В соответствии с Р 2.1.10.1920-04 критическими системами органов при остром ингаляционном поступлении азота диоксида являются органы дыхания, оксида углерода – сердечно-сосудистая система и процессы развития, взвешенных веществ – органы дыхания. Оксид углерода, так же как и волны тепла, способен оказывать влияние на развитие БСК [12, 19].

Для расчёта дополнительной вероятности развития БСК, обусловленных влиянием оксида углерода, была использована математическая модель «Неканцерогенный риск нарушений сердечно-сосудистой системы – концентрация оксида углерода в воздухе», установленная по данным анализа научной литературы [20]. Дополнительная вероятность заболеваемости, обусловленная концентрациями оксида углерода, ассоциированными с влиянием волны тепла, за год по классу БСК составила от $1,58 \cdot 10^{-8}$ до $1,64 \cdot 10^{-7}$. Уровень риска, обусловленный модифицирующим влиянием волн тепла на концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе г. Пермь в 2020 г., составил $2,99 \cdot 10^{-7}$.

По результатам интегрирования рисков для здоровья населения, формируемых при совместном воздействии метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха, установлено, что для населения г. Перми старше трудоспособного возраста в 2020 г. интегральный уровень риска составил $1,25 \cdot 10^{-4}$ и характеризуется как неприемлемый (настораживающий уровень риска), а для населения трудоспособного возраста интегральный уровень риска составил $8,16 \cdot 10^{-6}$ и характеризуется как приемлемый уровень.

Заключение. Предложены подходы, позволяющие провести расчёт, категорирование и оценку приемлемости интегральных уровней риска для здоровья населения, формируемых в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха. В ходе апробации на примере г. Пермь рассчитаны интегральные уровни риска для здоровья населения по классу БСК, ассоциированные с совместным влиянием волн тепла в 2020 г. и обусловленного ими увеличения среднесуточных концентраций оксида углерода. Для населения старше трудоспособного возраста интегральный уровень риска категоризируется как неприемлемый ($1,25 \cdot 10^{-4}$), а для населения трудоспособного возраста – как приемлемый уровень ($8,16 \cdot 10^{-6}$).

Список литературы

1. McMichael A.J., Lindgren E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses // *J Intern Med.* – 2011. – Vol. 5, № 270. – P. 401–413. DOI: 10.1111/j.1365-2796.2011.02415.x
2. Brasseur G.P. Implications of Climate Change for Air Quality [Электронный ресурс] // WMO. – 2019. – URL: <https://wmo.int/media/magazine-article/implications-of-climate-change-air-quality> (дата обращения: 20.08.2025).
3. Impact of climate change on the future chemical composition of the global troposphere / G.P. Brasseur, M. Schultz, C. Granier, M. Saunois, T. Diehl, M. Botzet [et al.] // *J. Climate.* – 2006. – Vol. 19, № 16. – P. 3932–3951. DOI: 10.1175/jcli3832.1
4. Оценка влияния комплекса метеопараметров на рассеивание выбросов от стационарных источников загрязнения на примере территории города Нижнекамска / И.Г. Григорьева, Ю.А. Тунакова, Р.А. Шагидуллина, В.С. Валиев, О.Н. Кузнецова // *Вестник технологического университета.* – 2015. – Т. 15, № 18. – С. 268–270.
5. Изменение климата и здоровье. Информационный бюллетень [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2021. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (дата обращения: 20.08.2028).
6. МР 2.1.10.0057-12. Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 48 с.
7. Р 2.1.10.3968–23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2023. – 221 с.
8. Веселов В.М., Прибыльская И.Р. Специализированные массивы для климатических исследований: ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (дата обращения: 20.08.2028).
9. Методические подходы к количественной оценке риска для здоровья населения, формирующегося в условиях воздействия метеорологических факторов на примере волн тепла / П.З. Шур, Н.В. Зайцева, А.А. Хасанова, Е.В. Хрущева, М.Ю. Цинкер // *Здоровье населения и среда обитания.* – 2024. – Т. 32, № 8. – С. 7–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-8-7-17
10. WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000–2019. [Электронный ресурс] // WHO. – 2020. – URL: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019_daly-methods.pdf?sfvrsn=31b25009_7 (дата обращения: 20.08.2028).
11. К оценке риска для здоровья населения, обусловленного влиянием климатических факторов в условиях Крайнего Севера / П.З. Шур, Д.А. Кириянов, М.Р. Камалудинов, А.А. Хасанова // *Анализ риска здоровью.* – 2022. – № 3. – С. 53–62. DOI: 10.21668/health.risk/2022.3.04
12. Human Physiology in Extreme Heat and Cold / B.M. Beker, C. Cervellera, A. De Vito, C.G. Musso // *Int. Arch. Clin. Physiol.* – 2018. – Vol. 1, № 1. – P. 1–8. DOI: 10.23937/iacph-2017/1710001

13. Жара и сердечно-сосудистые заболевания (обзор эпидемиологических исследований) / И.Л. Козловская, О.С. Булкина, В.В. Лопухова, Н.А. Чернова, О.В. Иванова, Т.Е. Колмакова [и др.] // Терапевтический архив. – 2015. – Том 9, № 87. – С. 84–90. DOI: 10.17116/terarkh201587984-90
14. Kilbourne E.M. The spectrum of illness during heat waves // *Am J Prev Med.* – 1999. – Vol. 16, № 4. – P. 359–360.
15. Ревич Б.А. Волны жары в мегаполисах и пороги их воздействия на смертность населения // *Гигиена и санитария.* – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1073–1078. DOI: 10.47470/0016-9900-2017-96-11-1073-1078
16. Impact of weather changes on hospital admissions for hypertension / F. Bauer, J. Lindtke, F. Seibert, B. Rohn, A. Doevelaar [et al.] // *Scientific Reports.* – 2022. – № 12. – P. 5716. DOI: 10.1038/s41598-022-09644-5
17. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U.S. Global Change Research Program [Электронный ресурс] / A. Crimmins, J.L. Balbus, C.B. Gamble, C.B. Beard, J.E. Bell, D. Dodgen [et al.]. – Washington, DC, 2016. – URL: <https://health2016.globalchange.gov/> (дата обращения: 15.08.2025).
18. Does Temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy / M. Stafoggia, J. Schwartz, F. Forastiere, C.A. Perucci and the SISTI Group // *Am. J. Epidemiol.* – 2008. – Vol. 12, № 167. – P. 1476–1485. DOI: 10.1093/aje/kwn074
19. Toxicological profile for carbon monoxide. – Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012. – 347 p.
20. Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития: Монография. В 2-х томах / Г.Г. Онищенко, Н.В. Зайцева, А.Ю. Попова [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва – Пермь: Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, 2024. – Т. 1. – 580 с. – ISBN 978-5-398-03132-4.

Раздел III

**Актуальные наукоемкие
химико-аналитические,
молекулярно-генетические
и биохимические методы
исследования в мониторинге
состояния среды обитания
и здоровья населения**

Сравнительный анализ гендерных различий на поведенческие реакции крыс (поколения F1) при оценке отдаленных эффектов биопрофилактического комплекса против свинцовой интоксикации

В.А. Батенева, К.М. Никогосян
Научные руководители – д.б.н. И.А. Минигалиева,
д.м.н. М.П. Сутункова

ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий»,
г. Екатеринбург, Россия

Загрязнение свинцом и другими тяжёлыми металлами остается актуальной экологической и медицинской проблемой ввиду их биоаккумуляции и токсического воздействия на организм.

Был проведен эксперимент, в котором использовали 144 крысы (поколение F0), разделенные на 4 группы: контроль, Pb-экспозиция (819 мг/л в питьевой воде, 45 дней), Pb-экспозиция совместно с приемом биопрофилактического комплекса и БПК (включал комплекс микронутриентов). Поведенческие тесты проводили у потомства (поколение F1).

Биопрофилактический комплекс проявлял нейропротекторное действие у потомства Pb-экспонированных животных: нивелировал снижение исследовательской активности у самцов и тревожность у самок.

Полученные результаты обосновывают необходимость разработки гендерно-ориентированных стратегий биопрофилактики отдаленных эффектов тяжелых металлов.

Ключевые слова: биологическая профилактика, ацетат свинца, тяжелые металлы, токсичность, нейротоксичность.

Воздействие тяжелых металлов, в частности свинца, остается серьезной экологической и медицинской проблемой в связи с их способностью накапливаться в организме и вызывать долгосрочные нейротоксические эффекты. Свинец нарушает когнитивные функции, эмоциональный статус и двигательную активность, что подтверждается многочисленными экспериментальными и клиническими данными [1–3]. Особую опасность представляет его влияние на развивающийся мозг, однако даже у взрослых особей экспозиция к свинцу приводит к стойким поведенческим нарушениям [4, 5].

Уже более 30 лет научный коллектив отдела токсикологии ФБУН «Екатеринбургский медицинский-научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» занимается разработкой методов биологической профилактики токсических эффектов вредных факторов производственной среды [6, 7]. Современные исследования токсического воздействия свинца и его соединений преимущественно сосредоточены на изучении их негативного влияния на экспонированное

(F0) и последующее (F1) поколения [8, 9]. Однако вопрос эффективности биологической профилактики, примененной к поколению F0, и ее потенциального защитного действия на потомство остается недостаточно изученным [10, 11].

Известно, что самцы и самки по-разному реагируют на токсическое воздействие из-за различий в метаболизме, гормональном фоне и порогах нейропластичности [12–15]. Эти различия могут существенно влиять как на выраженность токсических эффектов, так и на эффективность защитных мер, что особенно важно учитывать при разработке стратегий биофилактики.

Цель исследования – оценка эффективности биофилактического комплекса (БПК) на поведенческие реакции крыс поколения F1 против отдаленных эффектов свинцовой интоксикации.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска эффективных средств коррекции долгосрочных последствий свинцовой интоксикации; недостаточной изученностью половых различий в эффективности биофилактики; перспективностью применения комплексов биопротекторов для снижения нейротоксических эффектов.

Материалы и методы. В исследовании использовали 144 белых нелинейных беспородных крысы (F0) со средней массой тела $287,7 \pm 26,7$ на начало исследования (разброс не превышал 10 %) в возрасте 4–6 месяцев, разделенных случайным образом на 4 экспериментальные группы: контроль (интактные животные), крысы, подвергавшиеся воздействию ацетата свинца («Pb»), группа, подвергавшаяся воздействию ацетата свинца на фоне перорального приема БПК («Pb+БПК»), и группа, получавшая только БПК («БПК») (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные группы крыс

Номер и наименование группы	Количество животных (F0)	Количество животных (F1)
1. Контроль (♂+♀)	24 (8 самцов и 16 самок)	24 (12 самцов и 12 самок)
2. Pb (♂) + Pb (♀)	24 (8 самцов и 16 самок)	24 (12 самцов и 12 самок)
3. Pb-БПК (♂) + Pb-БПК (♀)	24 (8 самцов и 16 самок)	24 (12 самцов и 12 самок)
4. БПК (♂) + БПК (♀)	24 (8 самцов и 16 самок)	24 (12 самцов и 12 самок)

Крысы получали ацетат свинца с питьевой водой в дозе 819 мг/л (1/20 ЛД₅₀) ежедневно в течение 45 дней, на 46-й день животных ссаживали для спаривания, а экспозицию прекращали. Состав БПК подбирался с учетом свойств его компонентов и особенностей их совместного действия и включал кальций (160 мг), железо (1 мг), йод (4 мкг), глицин (12 мг), глутаминовую кислоту (160 мг), пектин (200 мг), рыбий жир (13,3 мг омега-3), а также витамины (А, Е, С, группы В, D3, РР). Вышеперечисленные компоненты вводились в рацион в виде разрешенных на территории РФ фармакологических препаратов с кормом. Глутамат животные получали с питьем в виде 1,5 % водного раствора.

Для оценки эффективности БПК против токсического действия ацетата свинца были проведены стандартизированные тесты, позволяющие анализировать уровень двигательной, ориентировочно-исследовательской активности и параметры возбудимости у животных поколения F1. Поколение F1 не подвергалось прямому воздействию ацетата свинца и не получало БПК, что позволило изучить транслируемые эффекты родительской экспозиции в чистом виде, исключив прямое фармакологическое влияние исследуемых веществ. Поведенческие тесты проводили с 24-часовыми интервалами у потомства – поколения F1 в возрасте 28–36 дней в соответствии со стандартными протоколами [16].

В тесте «Открытое поле с норками» («ОП») лабораторное животное помещалось в центр открытой площадки, наблюдение велось в течение 5 минут с поминутной регистрацией следующих показателей: количество заглядываний в «норки» и обнюхивание их, вертикальная активность, груминг, акты дефекации.

В тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» («ПКЛ») животное во время теста помещалось в центр установки головой к открытому рукаву. Длительность тестирования составляет 5 минут, что позволяет дать животному время для адаптации, а также выбора стратегии исследования или нахождения в безопасной зоне. В рамках тестирования регистрировались показатели: время, проведенное в темных / светлых рукавах, количество пересечений центра, вертикальная активность, количество выглядываний из темных рукавов, количество свешиваний за пределы платформы, суммарная двигательная активность.

Суммационно-пороговый показатель (СПП) количественно характеризует способность ЦНС к суммации подпороговых импульсов, отражая лабильность нервных центров и порог возбудимости. В исследовании СПП определяли с помощью импульсатора ИСЭ-01, подавая нарастающий импульсный ток (0–19 мА) с интервалом 500 мс до появления сгибательного рефлекса [17].

Статистическую обработку данных проводили с применением t-критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования выявили значимые различия в поведенческих реакциях между экспериментальными группами крыс поколения F1. В тестах «ОП», «ПКЛ» самцы, полученные от группы «Pb», демонстрировали стойкое снижение двигательной активности по сравнению с показателями самцов от контрольной группы, что выражалось в уменьшении количества пересеченных квадратов (на 45,2 %) (рис. 1А), количестве пересечений центральной площадки (на 38,1 %) (рис. 1Б) и снижении общей пройденной дистанции (на 36,4 %) (рис. 1В). Эти данные согласуются с исследованиями, указывающими на то, что свинец вызывает нарушения двигательной функции у крыс [18, 19].

У самок от группы «Pb» наблюдается более выраженное снижение общей пройденной дистанции (на 41,2 %) и количества пересечений центральной площадки (на 87 %), чем у самцов. Введение БПК способствовало частичному восстановлению этого показателя, причем у самок эффект был более выражен, чем у самцов (рис. 1). Воздействие свинца влияет на отдельные поведенческие домены, а также на экспрессию и распределение глутаматергических рецепторов, причем это влияние зависит от пола [20, 21]. Эти данные согласуются с концепцией о различной чувствительности полов к токсическим воздействиям, и, вероятно, к эффектам от приема БПК.

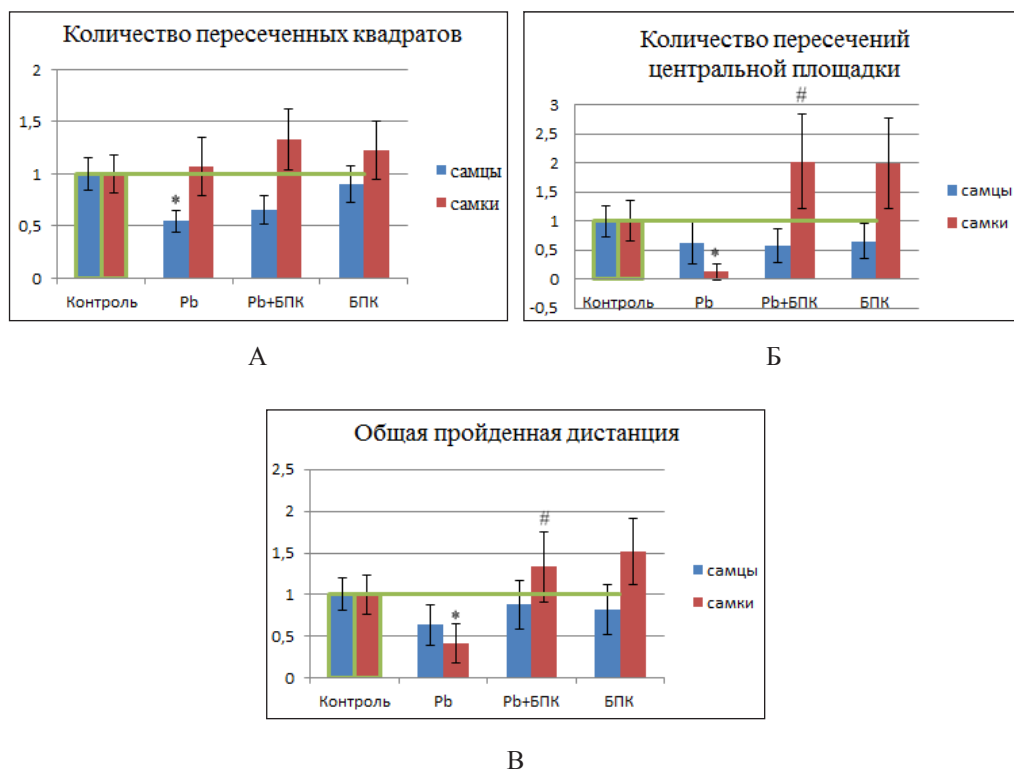


Рис. 1. Некоторые показатели двигательной активности экспериментальных крыс: А – количество пересеченных квадратов, Б – количество пересечений центральной площадки, В – общая пройденная дистанция.

Примечание: * – статистически значимые отличия от группы «Контроль»; # – статистически значимые отличия от группы «Pb», $p \leq 0,05$

В тесте ПКЛ Pb-экспонированные животные больше времени, чем в контроле, проводили в открытых рукавах, что может указывать на снижение тревожности (анксиолитический эффект) (рис. 2Г) [22]. Парадоксальное увеличение времени в открытых рукавах сочеталось с ростом количества актов груминга (на 303,0 %) (рис. 2А) и дефекации / уринации (на 141,0 %) (рис. 2Б) по сравнению с показателями детенышей контрольной группы. Однако хорошо известно, что анксиолитики не вызывают повышение эмоциональной возбудимости, а наоборот, снижают ее, поэтому говорить об анксиолитическом действии ацетата свинца в данном случае не корректно. Самки демонстрировали на 17,6 % большее время в открытых рукавах по сравнению с самцами при интоксикации, на 36,6 % меньшее время в закрытых рукавах (рис. 2Б). Это свидетельствует о более выраженном нарушении стресс-реакций у самок: их поведение отражает сниженное избегание потенциальных угроз и дезадаптацию типичных для грызунов стратегий безопасности. У самцов наблюдалось выраженное увеличение количества актов дефекации / уринации (на 637 % по сравнению с детенышами-самцами от контрольной группы).

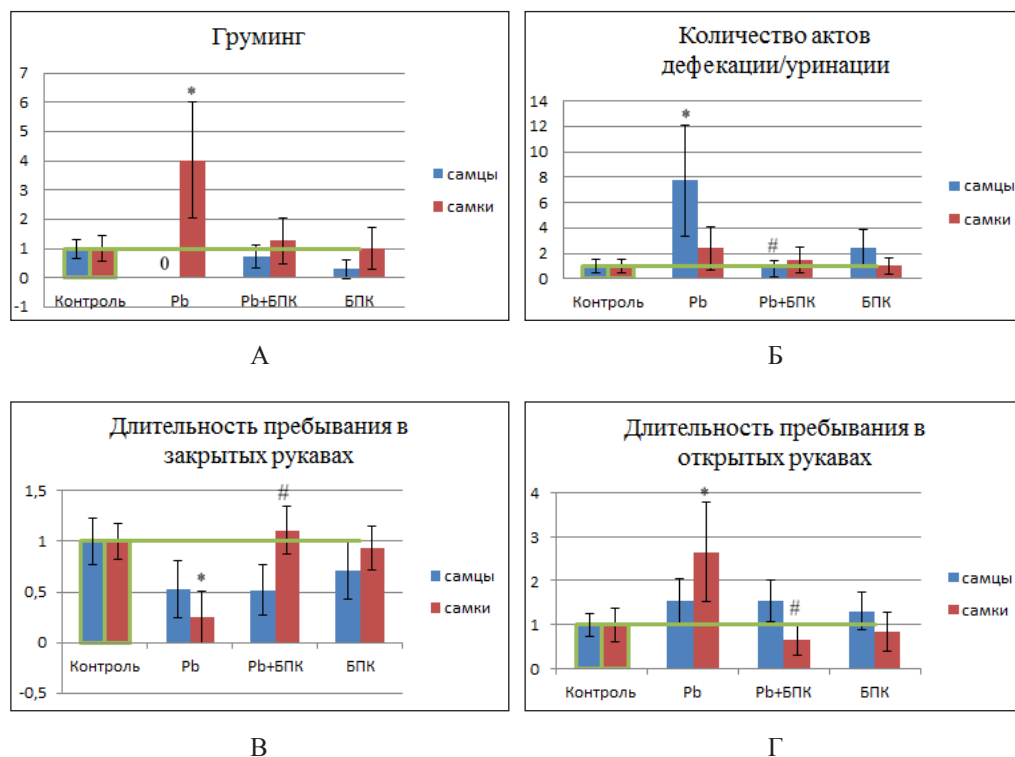


Рис. 2. Некоторые показатели эмоциональной реактивности и тревожности экспериментальных крыс: А – груминг, Б – количество актов дефекации / уринации, В – длительность пребывания в закрытых рукавах, Г – длительность пребывания в открытых рукавах.

Примечание: * – статистически значимые отличия от группы «Контроль»; # – статистически значимые отличия от группы «Pb», $p \leq 0,05$

Выявленные контрастные реакции на интоксикацию свинцом у самцов и самок, вероятно, обусловлены фундаментальными различиями в нейробиологических мишенях токсиканта, гормональной модуляции его действия. У самок парадоксальное сочетание поведенческой расторможенности (увеличение времени в открытых рукавах) с выраженными вегетативными проявлениями тревоги может быть вызвано избирательным поражением лимбических структур – гиппокампа и миндалевидного тела, чья функция модулируется эстрогенами [23]. Помимо этого, воздействие ацетата свинца может вызывать повышенную тревожность вследствие изменений содержания 5-НТ (серотониновые рецепторы) в нейронах дорсального ядра шва среднего мозга [24]. Коррекция БПК приводила к нормализации некоторых эффектов у самцов, в то время как у самок остаточные явления сохранялись (рис. 2).

Помимо вышесказанного у самок F1 группы «Pb» наблюдается тенденция к увеличению количества заглядываний в норки (на 36,4 %) (рис. 3А), их обнюхиваний в тесте «ОП» (на 71,6 %) (рис. 3Б) по сравнению с самками от контрольной группы, однако у самцов наблюдается противоположный эффект. При приеме БПК уровень

исследовательской активности экспонированных крыс возрос и в некоторых случаях даже превышал контрольные значения (рис. 3). Это свидетельствует о нейропротекторном эффекте БПК, вероятно, связанном с антиоксидантными свойствами его компонентов.

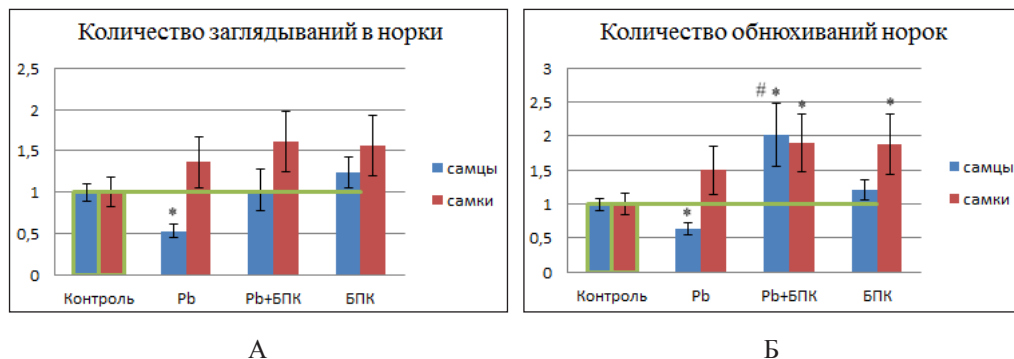


Рис. 3. Некоторые показатели ориентировочно-исследовательской активности экспериментальных крыс.

Примечание: * – статистически значимые отличия от группы «Контроль»;

– статистически значимые отличия от группы «Pb», $p \leq 0,05$

При анализе данных СПП было выявлено статистически значимое снижение у потомства обоих полов группы, экспонированной к ацетату свинца, принимавших БПК, по сравнению с животными от группы «Pb» (на 23,9 %).

Закключение. Полученные экспериментальные данные позволяют комплексно оценить нейротоксические эффекты свинца на опосредованно экспонированное потомство с учетом пола, а также проанализировать потенциальное протекторное воздействие БПК. Полученные данные убедительно демонстрируют, что свинец вызывает нарушения двигательной, ориентировочно-исследовательской активности, причем характер этих изменений принципиально различается у самцов и самок. Особую важность представляет межпоколенческая передача токсических последствий воздействия свинца и защитных эффектов биопротекции. При этом важно отметить, что положительное влияние БПК также проявлялось в следующем поколении, демонстрируя способность биопротекции снижать не только непосредственные, но и отдаленные последствия интоксикации.

Полученные результаты имеют значительный потенциал для разработки персонализированных подходов к профилактике профессиональных и экологически обусловленных нейропатологий. Настоящее исследование не только расширяет понимание механизмов нейротоксичности тяжелых металлов, но и устанавливает новые ориентиры для разработки персонализированных подходов к профилактике профессионально обусловленных заболеваний. Полученные результаты обуславливают необходимость учета половых различий как при оценке токсических эффектов, так и при разработке стратегий биологической защиты, открывая перспективы для создания более эффективных схем нейропротекции.

Список литературы

1. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations <10 microg/dL in US children and adolescents / B.P. Lanphear, K. Dietrich, P. Auinger [et al.] // *Public Health Rep.* – 2000. – № 115. – P. 521–529.
2. Low-level human equivalent gestational lead exposure produces sex-specific motor and coordination abnormalities and late-onset obesity in year-old mice / J.L. Leasure, A. Giddabasappa, S. Chaney [et al.] // *Environ. Health Perspect.* – 2008. – Vol. 116. – P. 355–361.
3. Sex-Dependent Effects of Developmental Lead Exposure on the Brain / G. Singh, V. Singh, M. Sobolewski [et al.] // *Front. Genet.* – 2018. – Vol. 9. – № 89.
4. Early-life lead exposure induces long-term toxicity in the central nervous system: From zebrafish larvae to juveniles and adults / Z. Wang, H. Zhao, Y. Xu [et al.] // *Sci Total Environ.* – 2022. – Vol. 45. – P. 150185. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150185
5. Huang Y., Yun K. Study on Effects and Mechanism of Lead and High-Fat Diet on Cognitive Function and Central Nervous System in Mice // *World Neurosurg.* – 2020. – Vol. 138. – P. 758–763. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.01.165
6. О роли биопрофилактики в системе мер управления профессиональными и экологически обусловленными химическими рисками для здоровья населения / Б.А. Кацнельсон, Л.И. Привалова, В.Б. Гурвич [и др.] // *Токсикологический вестник.* – 2015. – № 1 (130). – С. 10–21.
7. Изменение действия свинца на фоне физической нагрузки и эффект биологической профилактики на центральную нервную систему крыс / Ю.В. Рябова, А.К. Кунгурцева, Е.М. Петрунина [и др.] // *Медицина труда и экология человека.* – 2024. – № 2.
8. Interplay and long-lasting effects of maternal low-level Pb, Hg, and Cd exposures on offspring cognition / L. Ouyang, Q. Li, S. Yang [et al.] // *Ecotoxicol Environ Saf.* – 2024. – Vol. 287, № 15. – P. 117315. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117315
9. Lead Toxicity and Maternal Exposure: Characterisation of Alveolar Bone Changes on Offspring Rats / M.F.L. Rodrigues, D. Souza-Monteiro, R.M.F. Nazário [et al.] // *Biol Trace Elem Res.* – 2025. – Vol. 203. – P. 3245–3257. DOI: 10.1007/s12011-024-04412-0
10. Reproductive and embryological toxicity of lead acetate in male mice and their offspring and mitigation effects of quercetin / P. Dolati, M.J. Zamiri, A. Akhlaghi [et al.] // *J. Trace Elem. Med. Biol.* – 2021. – Vol. 67. – P. 126793. DOI: 10.1016/j.jtemb.2021.126793
11. Assessing the Anxiolytic Properties of Taurine-Derived Compounds in Rats Following Developmental Lead Exposure: A Neurodevelopmental and Behavioral Pharmacological Pilot Study / L.S. Neuwirth, B.U. Emenike, E.D. Barrera [et al.] // *Adv Exp Med Biol.* – 2019. – Vol. 1155 – P. 801–819. DOI: 10.1007/978-981-13-8023-5_69
12. Gender specific differences in neurodevelopmental effects of prenatal exposure to very low-lead levels: the prospective cohort study in three-year olds / W. Jedrychowski, F. Perera, J. Jankowski [et al.] // *Early Hum Dev.* – 2009. – Vol. 85 (8). – P. 503–510. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2009.04.006

13. Gender difference in the effects of lead exposure at different time windows on neurobehavioral development in 5-year-old children / H. Joo, J.H. Choi, E. Burm [et al.] // *Sci Total Environ.* – 2018. – Vol. 615. – P. 1086–1092. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.007
14. Marrocco J., McEwen B.S. Sex in the brain: hormones and sex differences // *Dialogues Clin Neurosci.* – 2016. – Vol. 18(4) – P. 373–383. DOI: 10.31887/DCNS.2016.18.4/jmarrocco
15. Dachtler J., Fox K. Do cortical plasticity mechanisms differ between males and females? // *J. Neurosci Res.* – 2017. – Vol. 95. – P. 518–526. DOI: 10.1002/jnr.23850
16. МР 1.2.0382-25. Оценка поведенческих, когнитивных, эмоциональных, сенсорных функций и социального поведения у животных в токсикологических исследованиях [Электронный ресурс]. – URL: https://rospn.gov.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=30380 (дата обращения: 25.07.2025).
17. Сперанский С.В. Определение суммационно-порогового показателя (СПП) при различных формах токсикологического эксперимента: Метод. рекомендации. – Новосибирск: М-во здравоохранения РСФСР. Гл. упр. НИИ и координации науч. исслед., Новосиб. н.-и. сан. ин-т, 1975. – 27 с.
18. Effects of embryonic lead exposure on motor function and balance ability in offspring rats and possible mechanisms / J.P. Zhou, F. Wang, X.Y. Wang [et al.] // *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi.* – 2017. – Vol. 19(3). – P. 361–367. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2017.03.022
19. Long-Term Lead Exposure Since Adolescence Causes Proteomic and Morphological Alterations in the Cerebellum Associated with Motor Deficits in Adult Rats / L.K.R. Leão, L.O. Bittencourt, A.C. Oliveira [et al.] // *Int J Mol Sci.* – 2020. – Vol. 21 (10). – P. 3571. DOI: 10.3390/ijms21103571
20. Sex-Dependent Effects of Developmental Lead Exposure in Wistar Rats: Evidence from Behavioral and Molecular Correlates / A.M. Tartaglione, M.M. Serafini, A. Raggi, F. Iacoponi, E. Zianni, A. Scalfari, L. Minghetti, L. Ricceri, F. Cubadda, G. Calamandrei [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2020. – Vol.21, № 8. – P. 2664. DOI: 10.3390/ijms21082664
21. Влияние наночастиц свинца на экспрессию генов глутаматного рецептора NMDA и поведенческие реакции у крыс породы Wistar / А.М. Амромина, Д.Р. Шаихова, И.А. Берёза [и др.] // *Гигиена и санитария.* – 2022. – Т. 101, № 12. – С. 1581–1587. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-12-1581-1587
22. Walf A.A., Frye C.A. The use of the elevated plus maze as an assay of anxiety-related behavior in rodents // *Nat Protoc.* – 2007. – № 2. – P. 322–328. DOI: 10.1038/nprot.2007.44
23. Barkur R.R., Bairy L.K. Histological study on hippocampus, amygdala and cerebellum following low lead exposure during prenatal and postnatal brain development in rats // *Toxicol Ind Health.* – 2016. – Vol. 32, № 6. – P. 1052–1063. DOI: 10.1177/0748233714545624
24. Effects of chronic lead intoxication on rat serotonergic system and anxiety behavior / W. Sansar, M.M. Bouyatas, S. Ahboucha, H. Gamrani // *Acta Histochem.* – 2012. – Vol.114, № 1. – P. 41–45. DOI: 10.1016/j.acthis.2011.02.003

Совершенствование диагностики *C. difficile*-инфекции для предотвращения распространения возбудителя в стационаре

О.П. Логинова

ГУ «Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека»,
г. Гомель, Республика Беларусь

Антибиотик-ассоциированная диарея (ААД) – широко распространенное заболевание, зачастую приводящее к гибели пациента. Во многих стационарах ААД рассматривается как серьезная проблема, а без проведения обследования пациентов на *C. difficile* многие случаи заболевания остаются не диагностированными. Замкнутые пространства стационаров с большим скоплением пациентов, имеющих различные факторы риска, способствуют передаче *C. difficile* контактным путем через руки медицинского персонала и различные предметы ухода. Для снижения риска распространения *C. difficile* в стационаре необходимо проводить быструю диагностику и дифференциальную диагностику синдрома диареи у пациентов. Для этого применяется микробиологическое исследование фекалий, определение глутаматдегидрогеназы и токсинов А и В *C. difficile*.

Ключевые слова: антибиотик-ассоциированная диарея, диагностика, риск распространения.

Широкое и неконтролируемое применение антибиотиков привело к тому, что диареи, ассоциированные с их приемом, представляют одну из актуальных проблем современной медицины. Частота развития антибиотик-ассоциированных диарей (ААД) в зависимости от класса используемых препаратов и действия predisposing факторов может варьировать от 3 до 29 %. До 40 % всех случаев антибиотик-ассоциированных диарей связано с *Clostridioides difficile* [1]. Центры по контролю и профилактике заболеваний определили *C. difficile*-инфекцию (КДИ) как «неотложную угрозу», подчеркнув необходимость принятия агрессивных мер для предотвращения этой инфекции.

Основными факторами риска КДИ являются антибиотикотерапия и стационарное лечение (каждая последующая неделя госпитализации увеличивает риск инфицирования на 8 %). Риск заболевания повышается в 7–10 раз во время лечения антибиотиками и на протяжении 1 месяца после их отмены, а также остаётся повышенным в 2–3 раза на протяжении 3 месяцев после завершения антибиотикотерапии. Самый высокий риск развития КДИ ассоциируется с применением клиндамицина, цефалоспоринов и фторхинолонов [2].

Общепринятым определением ААД является наличие у больного как минимум трех или более эпизодов неоформленного стула, ассоциированных с применением антибактериальных препаратов в сроки до 4–8 нед. после их отмены, если не выявлена другая причина диареи [3]. Важным практическим аспектом является то, что развитие ААД не зависит от способа введения АБТ. При пероральном приеме, помимо влияния АБТ на кишечную микрофлору, происходит местное воздействие

непосредственно на слизистую оболочку тонкой кишки; при парентеральном введении АБТ воздействуют на микробиоценоз кишечника, выделяясь со слюной, желчью, секретом тонкой и толстой кишки [4].

Источником КДИ могут служить как больные, так и здоровые бактериовыделители токсигенных штаммов. Механизм передачи инфекции – фекально-оральный, который реализуется через контактный, водный, реже пищевой пути передачи. На долю *C. difficile* приходится более 60 % всех случаев диареи, связанных с оказанием медицинской помощи. К факторам передачи в этом случае относят предметы ухода, инструментарий и, что особенно важно, руки медицинского персонала и ухаживающих [5].

Цель исследования – проведение дифференциальной диагностики антибиотик-ассоциированной диареи для снижения риска распространения возбудителя в условиях стационара.

Материал и методы исследования. В лаборатории клеточных технологий ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека» проведено исследование клинического материала, принятого у 121 пациента с характерными клиническими проявлениями (диарея, диспепсия, боли в животе, лихорадка), все пациенты проходили антибактериальную терапию. Материалом для исследования явились фекалии. Фекалии забирались в одноразовый стерильный контейнер и в течение 2 часов доставлялись в лабораторию, где проводилось культуральное исследование и определение глутаматдегидрогеназы (GDH), токсинов А и В *C. difficile* (CDAB) иммуноферментным методом.

Посев фекалий на плотные питательные среды проводился количественным способом, с последующей инкубацией посевов в анаэробных условиях и в условиях повышенного содержания CO₂ (6 %) при 37°C 48 часов. Затем осуществлялась оценка результатов посева, устанавливалось наличие изменений в качественном и количественном составе кишечной микробиоты. Параллельно определялось количество выросших колоний *C. difficile*, их биохимическая идентификация до вида и определение чувствительности к антибактериальным препаратам (использовались стрипы ID 32 A, ATB ANA, чувствительность к ванкомицину определяли методом Е-тестов при культивировании в анаэробных условиях с использованием агара Мюллера-Хинтона с кровью). При получении роста грибов рода *Candida* проводилась идентификация их до вида с определением чувствительности к противогрибковым препаратам с использованием микробиологического анализатора miniApi, (BioMerieux, Франция). При выполнении исследования и интерпретации результатов руководствовались стандартами EUCAST v.10.0.

Качественное определение фермента глутаматдегидрогеназы (GDH), токсинов А и В *C. difficile* (CDAB) выполнялось иммуноферментным методом на автоматическом иммунологическом анализаторе «VIDAS» с флуоресцентным механизмом детекции результатов. Так как интенсивность флуоресценции возрастает пропорционально количеству токсинов и глутаматдегидрогеназы в образце фекалий, по результату исследования возможно вести динамическое количественное определение этих показателей. Положительными считались результаты для CDAB $\geq 0,37$, для GDH $> 0,10$. Время исследования 90 минут. GDH – родоспецифический фермент, превращающий глутамат в α -кетоглутарат, вырабатывается представителями рода *Clostridium*, в том числе *C. difficile*. Этот фермент синтезируют активно размножа-

ющиеся микроорганизмы, как токсигенные, так и нетоксигенные штаммы. Прогностическая достоверность отрицательного показателя GDH составляет от 98 до 100 %.

По результатам микробиологического и серологического исследований проводилась дифференциальная диагностика антибиотик-ассоциированной диареи и выдавалось клиничко-лабораторное заключение с рекомендациями по дальнейшей терапии и профилактике распространения возбудителя в стационаре.

Результаты исследования и их обсуждение. По результатам микробиологического исследования у 46 (38 %) пациентов выявлен дисбактериоз, характеризующийся снижением нормальной *E.coli*, бифидобактерий, лактобактерий и увеличением количества условно-патогенных энтеробактерий (*K.pneumoniae*, *C.freundii*, *E.cloacae* и др.), что и явилось причиной диареи. Этим пациентам рекомендовано восстановление нормальной микробиоты кишечника.

Рост грибов рода *Candida* в количестве, превышающем нормальное значение ($> 10^4$ КОЕ/мл), получен у 11 пациентов, что составило 23,9 %. По результатам исследования рекомендована этиотропная терапия. Несмотря на то, что культуральное исследование является надежным методом для дифференциальной диагностики диареи, существуют ограничения его использования: 1) использование антибактериальных препаратов различных групп приводит к снижению ростовых свойств *C. difficile*, что даёт ложноотрицательный результат посева; 2) длительность исследования (2–3 суток) – при фульминантных формах промедление в диагностике и назначении терапии приводит к летальному исходу. В связи с этим нужно использовать ускоренные методы диагностики для установления причины диареи. Такими являются автоматические иммунологические исследования по определению глутаматдегидрогеназы и токсинов А и В *C.difficile*.

В результате иммунологического исследования в 50 (41,3 %) клинических образцах выявлены GDH и CDAB, что подтверждает наличие токсигенного штамма *C. difficile*. У 13 (10,7 %) пациентов детекция токсинов А и В совпала с результатом культурального исследования. В 100 % случаев выделенные штаммы *C. difficile* были чувствительны к метронидазолу (МПК < 2 мг/л) и ванкомицину (< 2 мг/л). Таким пациентам была рекомендована этиотропная терапия препаратами первой линии.

У 25 (20,7 %) пациентов получен положительный результат GDH при отрицательном результате определения токсинов А и В *C. difficile*. У этих пациентов клинические проявления (диарея и / или повышение температуры) могли быть обусловлены критической колонизацией *C. difficile* с последующей возможной продукцией токсина. В этом случае рекомендовано повторное определение токсина и глутаматдегидрогеназы в динамике. Для терапии таким пациентам рекомендованы пробиотики (энтерол, бактисубтил). Действие этих препаратов обусловлено антагонистическим эффектом в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, в том числе и *Clostridium difficile*, что снижает их количество и предотвращает развитие ААД.

Определение глутаматдегидрогеназы позволяет с максимальной степенью вероятности исключить наличие *C. difficile* в исследуемом образце за короткий период времени (90 минут), так как все штаммы *C. difficile* продуцируют высокие уровни глутаматдегидрогеназы. Поэтому этот фермент *C. difficile* является хорошим антигенным маркером для обнаружения данного микроорганизма и рекомендуется нами в качестве скринингового теста для установления этиологии антибиотик-ассоции-

рованной диареи. В случае отрицательного результата определения GDH *C. difficile* дальнейшее обследование на наличие клостридий не требуется; при положительном необходимо проведение тестов, подтверждающих наличие токсинов.

Заключение. Совершенствование дифференциальной диагностики антибиотик-ассоциированной диареи с применением комбинации лабораторных методов ускоренных (определение глутаматдегидрогеназы и токсинов А и В иммуноферментным методом) и классических (культуральное исследование с определением лекарственной чувствительности) позволит в максимально короткие сроки установить этиологию диареи и назначить этиотропную терапию. Это сократит время пребывания пациента в стационаре и позволит предотвратить риск внутрибольничного распространения *C. difficile*.

Список литературы

1. Успенский Ю.П., Фоминых Ю.А. Антибиотик-ассоциированная диарея: актуальность проблемы, профилактика и терапия // Архив внутренней медицины. – 2013. – № 2 (10). – С. 46–53.
2. Логинова О.П. Заболевания, ассоциированные с *Clostridium difficile*. – Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2019 – 46 с.
3. Горелов А.В., Усенко Д.В. Современные подходы к профилактике антибиотико-ассоциированной диареи у детей // Педиатрия (Прил. к журн. Consilium Medicum). – 2005. – № 7 (2). – С. 52–55.
4. Ивашкин В.Т. *Clostridium difficile*-ассоциированная болезнь / В.Т. Ивашкин, [и др.] // РЖГГК. – 2015. – № 6. – С. 5–17.
5. Инфекция, вызванная *Clostridioides difficile*. Обзор актуальных клинических рекомендаций / И.В. Николаева, С.В. Халиуллина, Г.Х. Муртазина, В.А. Анохин // Практическая медицина. – 2020. – № 6 (18). – С. 106–112.

Железооксидные магнитные сорбенты как твердая биофункциональная матрица для индикации возбудителя чумы в иммуноферментном анализе

Д.Г. Маглакелидзе

ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный институт»,
г. Ставрополь, Россия

В ходе исследования разработали и экспериментально оценили магнитные сорбенты (МС) на основе микрочастиц оксида железа для индикации *Yersinia (Y.) pestis* методом ИФА. Функционализацию частиц проводили двумя способами: прямой иммобилизацией поликлональных антител и с использованием анионного ПАВ (лаурилсульфата натрия).

Установлено, что применение ПАВ обеспечивает формирование стабильного иммуноглобулинового слоя с эффективной экспозицией Fab-фрагментов, повышая чувствительность анализа до $1 \cdot 10^4$ м.к./мл. Таким образом, полученные магнитные иммуносорбенты (МИС) могут быть использованы для селективного концентрирования и чувствительного выявления *Y. pestis*, а также применяться в составе тест-систем для диагностики других бактериальных инфекций.

Ключевые слова: микрочастицы оксида железа, иммуноглобулины класса G, магноиммуносорбенты, иммуноферментный анализ, возбудитель чумы.

Инфекционные заболевания, вызванные особо опасными патогенами, остаются серьёзной угрозой для региональной и глобальной биобезопасности [1]. Одним из таких патогенов является *Yersinia (Y.) pestis* – возбудитель чумы, характеризующейся высокой заразностью, разнообразием клинических форм и способностью быстро распространяться в природных и урбанизированных условиях [2]. Оперативное выявление и точная идентификация возбудителя имеют ключевое значение для проведения противоэпидемических мероприятий и ликвидации очагов инфекции.

Современные методы диагностики бактериальных инфекций ориентированы на высокочувствительные молекулярные и иммунологические технологии, среди которых важное место занимает иммуноферментный анализ (ИФА). Однако традиционные форматы ИФА ограничены использованием твердофазных носителей и длительным временем анализа, особенно при низких концентрациях возбудителя [3].

Перспективным направлением является применение магнитных сорбентов (МС) на основе оксида железа, обладающих высокой сорбционной способностью и удобной магнитной сепарацией [4]. Их модификация антителами позволяет создавать магнитные иммуносорбенты (МИС), обеспечивающие селективное связывание и концентрирование патогенов прямо в объёме образца, что сокращает время анализа и повышает его эффективность.

Для внедрения таких систем необходима оптимизация синтеза микрочастиц, методов иммобилизации антител и условий их функционализации, обеспечивающих сохранение биоспецифической активности. Несмотря на наличие различных подходов к созданию МИС, их характеристики в контексте диагностики чумы изучены недостаточно. Таким образом, разработка эффективных магнитных сорбентов остаётся актуальным направлением для совершенствования методов диагностики и создания новых платформ для ускоренного выявления опасных инфекций.

Целью работы стали разработка и экспериментальная оценка железооксидных магнитных сорбентов, функционализированных IgG к *Y. pestis*, для повышения чувствительности иммуноферментного анализа, направленного на индикацию возбудителя чумы.

В качестве МС использовали микрочастицы оксида железа, полученные методом осаждения из раствора сульфата железа (II) с использованием гидроксида калия в водной среде при 80 °С. Осажденный FeO отмывали дистиллированной водой методом магнитной декантации и высушивали, после чего гомогенизировали в мельнице.

Для придания биоспецифичности микрочастицы функционализировали поликлональными иммуноглобулинами класса G, выделенными из сыворотки кроликов, иммунизированных антигенами чумного микроба по схеме И.С. Тюменцевой и

др. [5]. Антитела выделяли каприловым методом, с последующим диализом и концентрированием [6]. Титр полученных IgG оценивали методом радиальной иммунодиффузии, он составил 1:16.

Функционализацию магнитных микрочастиц (МС) иммуноглобулинами проводили двумя способами. В первом варианте (МИС 1) МС инкубировали с раствором IgG (2,5 мг/мл) при 37 °С в течение 18 ч. Во втором (МИС 2) – перед иммобилизацией антител использовали предварительную обработку раствором лаурилсульфата натрия (0,25 %) для повышения доступности связывающих центров. После инкубации образцы магнитных иммуносорбентов (МИС) отмывали водой.

Дисперсные характеристики полученных систем (гидродинамический радиус и ζ -потенциал) определяли методом динамического рассеяния света. Функциональные свойства МС и МИС оценивали в формате иммуноферментного анализа с использованием инактивированного штамма *Y. pestis* EV (коллекция патогенных микроорганизмов ФКУЗ Ставропольский противочумный институт Роспотребнадзора). Концентрирование патогена осуществляли за счет магнитной сепарации. Для постановки ИФА применяли микропробирки и магнитный штатив, регистрировали результаты по изменению оптической плотности на длине волны 450 нм. Эффективность диагностики оценивали по коэффициенту K_D (отношение оптической плотности исследуемого образца к контролю), считая результат положительным при $K_D \geq 2$.

Статистическую обработку данных проводили с использованием языка программирования R (стандартные пакеты) и двухвыборочного t-теста. Результаты считали достоверными при $p < 0,05$.

На первом этапе у магнитных сорбентов определяли гидродинамический радиус и ζ -потенциал. Полученные частицы FeO характеризовались мономодальным распределением с радиусом $23,44 \pm 1,88$ мкм и отрицательным ζ -потенциалом – 35,01 мВ, что обусловлено присутствием поверхностных отрицательно заряженных групп (Fe-O⁻) при pH 6,0–7,0.

Для получения иммуноселективных частиц FeO функционализировали поликлональными IgG двумя методами. При прямой иммобилизации (МИС 1) регистрировалось лишь незначительное увеличение радиуса частиц (~13 %), указывающее на малую эффективность связывания антител и ограниченное экспонирование Fab-фрагментов. Во втором методе (МИС 2) использовали лаурилсульфат натрия (SLS), способствующий переходу иммуноглобулинов в нитевидную форму с экспонированными Fab-фрагментами. При этом контролировали концентрацию ПАВ (меньше критической концентрации мицеллообразования), чтобы избежать солюбилизации белка. Иммобилизация IgG с применением SLS приводила к значительному увеличению радиуса частиц до $31,86 \pm 3,41$ мкм, что отражает формирование плотного антительного слоя за счет взаимодействия анионных групп FeO с протонированными аминокислотными группами белка. Удаление ПАВ сопровождалось возвращением белка к нативной конформации и стабилизацией экспонированных Fab-фрагментов.

Функциональную активность полученных сорбентов оценивали методом ИФА в шестикратной повторности. Немодифицированные частицы (МС) обеспечивали детекцию *Y. pestis* только при концентрациях $\geq 1 \cdot 10^6$ м.к./мл, сопоставимых с ИФА без использования сорбентов. МИС 1 позволяли выявлять возбудителя на уровне $1 \cdot 10^5$ м.к./мл, однако при дальнейшем снижении концентрации эффективность пада-

ла. Показано, что образцы МИС 2 обеспечивают стабильное определение *Y. pestis* при концентрациях от $1 \cdot 10^4$ м.к./мл, что, по нашему мнению, связано с улучшенной ориентацией антител и более эффективным связыванием антигена.

Таким образом, способ иммобилизации антител оказывает ключевое влияние на сорбционные и аналитические свойства магнитных иммуносорбентов. Применение ПАВ-модифицированных МИС 2 обеспечивает повышение чувствительности ИФА по сравнению с немодифицированными сорбентами.

В ходе работы провели комплексную оценку морфологических и коллоидных свойств синтезированных микрочастиц оксида железа, предназначенных для применения в качестве сорбентов. Функционализацию частиц осуществляли двумя методами: прямой иммобилизацией антител (МИС 1) и иммобилизацией с использованием анионного ПАВ (МИС 2). Функциональные испытания показали, что немодифицированные микрочастицы обеспечивали детекцию *Y. pestis* при концентрациях не ниже $1 \cdot 10^6$ м.к./мл. Применение МИС 1 позволило снизить предел обнаружения до $1 \cdot 10^5$ м.к./мл, однако при меньших концентрациях эффективность резко снижалась. Эффективные результаты обеспечивали МИС 2, с чувствительностью до $1 \cdot 10^4$ м.к./мл благодаря эффективной экспозиции антител.

Таким образом, установлено, что способ иммобилизации антител определяет сорбционные свойства материала и его диагностическую эффективность. Разработанные магнитные иммуносорбенты, особенно МИС 2, перспективны для создания селективных систем экспресс-анализа *Y. pestis* и других патогенов в лабораторных и полевых условиях.

Список литературы

1. Современные угрозы и вызовы в области биологической безопасности и стратегия противодействия / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, В.П. Топорков, В.Ю. Смоленский, С.А. Щербакова, В.В. Кутырев // Проблемы особо опасных инфекций. – 2015. – № 3. – С. 5–9. DOI: 10.21055/0370-1069-2015-3-5-9
2. Слудский А.А., Девдариани З.Л. Рамнозопозитивные штаммы возбудителя чумы: вирулентность и эпидемиологическое значение // Проблемы особо опасных инфекций. – 2022. – № 3. – С. 38–44.
3. Конструирование и медицинские испытания моноклональной иммуноферментной тест-системы для выявления капсулосодержащих штаммов чумного микроба «ИФА пестф1-м» / З.Л. Девдариани, Н.А. Сырова, Е.А. Михеева, И.В. Терехова, Н.М. Ермаков, Г.В. Григорьева, О.А. Лобовикова, И.В. Шульгина // Проблемы особо опасных инфекций. – 2016. – № 3. – С. 85–89.
4. Применение селективной магнитной сорбции при индикации возбудителя туляремии методом MALDI-TOF масс-спектрометрического анализа / Е.А. Котенева, А.В. Калинин, Т.В. Жарникова, О.А. Гнусарева [и др.] // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. – 2021. – № 1. – С. 34–39.
5. Разработка иммунодиагностических препаратов для детекции возбудителя чумы (капсульной и бескапсульной форм) / И.С. Тюменцева, Е.Н. Афанасьев, С.А. Курчева, И.В. Жарникова, Е.В. Жданов, А.А. Семирчева, А.Г. Кошкидько // Здоровье населения и среда обитания. – 2020. – № 4 (325). – С. 64–68.

6. Steibuch G., Andran R. The isolation of IgG from imanalion serra with the acid of caprilic // Arch. Of Biochem. Stray and Biophys. – 1969. – Vol. 139. – P. 279–284.

Опыт проведения измерений общей вибрации на грунте прилегающей к железнодорожным путям территории

О.А. Молок, А.Л. Пономарев

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Железнодорожный транспорт является одним из источников вибрации в городе. При хорошем состоянии верхнего строения пути уровни вибрации на прилегающем к железнодорожным путям грунте зависят от сторонних источников. Проведена апробация способа измерения вибрации на грунте.

Ключевые слова: вибрация, грунт, железнодорожный транспорт.

В городских условиях источники вибрационного воздействия на грунты чаще всего имеют комплексный характер – одновременно действуют различные виды транспорта на поверхности, метро, строительство надземное и подземное, которое использует многие технологии, вызывающие вибрацию [1, 2]. Одним из источников вибрации в городской черте является железнодорожный транспорт. Возникающая при движении поездов вибрация грунта может оказывать негативное воздействие на фундаменты окружающих зданий и население [3]. Уровень вибрации, возникающий при прохождении поездов, зависит от скорости движения подвижного состава, осевой нагрузки экипажей, типа шпал, состояния рельсовых стыков и выплесков [4, 5]. Для распространения вибрации имеет значение состояние верхнего строения пути. Проведение измерения общей вибрации на грунте прилегающих территорий в последнее время становится все более востребованным. Несмотря на отсутствие нормативных значений, данный вид измерений включается в список требуемых при проведении инженерных изысканий для проектирования автомобильных дорог, реконструкции улиц, размещения жилых домов рядом с железнодорожными путями.

Цель исследования – оценка пригодности способа измерения общей вибрации на грунте прилегающей территории.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась вибрация грунта на участке земли, расположенном рядом с железной дорогой. Определяемым параметром являлся эквивалентный скорректированный уровень виброускорения. Точка проведения измерений располагалась на расстоянии 20 м от железнодорожных путей. Измерения проводились в течение трех дней, в дневное время (7⁰⁰ до 23⁰⁰), при про-

хождении пригородных поездов и электропоездов типа «Финист». Для проведения измерений использовался шумомер-виброметр, анализатор спектра 1 класса точности «Ассистент», с использованием виброкалибратора «АТ-01м» в соответствии с руководством по эксплуатации на прибор. Датчик для измерения вибрации крепился к адаптеру-стержню по ГОСТ Р 53964-2010 [6], забитому в грунт. Ось X вибродатчика была направлена на железную дорогу, ось Y – вдоль железнодорожного полотна, ось Z – вертикально.

Измерения проводились во время прохождения подвижного состава напротив места установки вибродатчика, учитывался тип поезда и направление движения. Фоновые значения измерялись в паузах в движении поездов. Вибрация при прохождении электропоездов типа «Финист», пригородных электропоездов измерялась в течение 3 минут. Фоновая вибрация измерялась не менее 10 минут, или до достижения условия, при котором эквивалентный уровень вибрации изменялся, не более чем на 0,5 дБА в течение 30 сек. Предполагалось, что уровень вибрации будет увеличиваться при прохождении железнодорожных составов рядом с местом проведения измерений.

Результаты. На практике отработаны измерения вибрации при прохождении железнодорожного транспорта. Анализ результатов измерений, полученных для направлений воздействия вибрации X, Y, Z, не позволил выявить закономерности. Возникла потребность в показателе, характеризующим вибрацию одним значением. Для дальнейшего анализа данных был проведен расчет полной вибрации для каждого измерения. Расчет проводился по формуле 1

$$L_{xyz} = 10 \lg (10^{0,1Lx} + 10^{0,1Ly} + 10^{0,1Lz}), \quad (1)$$

где Lx – эквивалентный скорректированный уровень виброускорения по оси X, дБ;

Ly – эквивалентный скорректированный уровень виброускорения по оси Y, дБ;

Lz – эквивалентный скорректированный уровень виброускорения по оси Z, дБ.

Результаты измерения и полученные данные расчетов представлены в таблице.

Уровень вибрации на земельном участке, прилегающем
к железнодорожным путям

Событие	День проведения измерений	Длительность проведения измерения, мин	Результат измерения, дБ			Полная вибрация, дБ
			Ось X	Ось Y	Ось Z	
Прохождение электропоезда Финист на север	День 1	3:01	83,7	88,2	96,9	97,6
Фон	День 1	7:47	89,2	86,8	99,9	100,4
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на север	День 1	3:00	89,7	90,3	101,3	101,9
Фон	День 1	10:00	86,2	92,0	97,5	98,8
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на север	День 1	3:00	92,2	91,7	98,9	100,4

Событие	День проведения измерений	Длительность проведения измерения, мин	Результат измерения, дБ			Полная вибрация, дБ
			Ось X	Ось Y	Ось Z	
Прохождение электропоезда Финист на юг	День 1	3:01	90,4	88,2	100,5	101,1
Фон	День 1	12:00	89,0	90,4	99,8	100,6
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на юг	День 1	3:00	87,9	88,9	99,8	100,4
Прохождение электропоезда Финист на север	День 2	3:00	83,5	91,4	91,2	94,7
Прохождение электропоезда Финист на юг	День 2	3:00	88,5	94,5	97,2	99,4
Фон	День 2	12:00	82,6	88,8	89,8	92,8
Прохождение пригородного поезда ЭТ-2М на юг	День 2	3:00	85,1	92,4	94,1	96,7
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на север	День 3	3:00	89,7	96,7	99,0	101,3
Фон	День 3	25:00	90,8	98,0	100,9	103,0
Прохождение электропоезда Финист на север	День 3	3:00	91,2	96,6	99,7	101,8
Прохождение электропоезда Финист на юг	День 3	3:00	89,2	97,8	98,6	101,5
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на юг	День 3	3:00	91,5	98,7	101,0	103,3
Прохождение пригородного поезда ЭД-4М на север	День 3	3:00	92,3	98,0	101,8	103,6

Анализ данных полной вибрации показал, что уровень вибрации на прилегающем к железнодорожным путям участке грунта не зависит от прохождения подвижного состава. Уровень вибрации на исследуемом участке зависит от сторонних источников.

Выводы. Проведение измерений общей вибрации на грунте прилегающих территорий с использованием адаптера-стержня возможно. Методики оценки и обработки результатов измерений общей вибрации на грунте нуждаются в доработке. Строение верхней части железнодорожного пути на данном участке эффективно гасит вибрационные колебания.

Список литературы

1. Методические вопросы измерения вибрации для оценки их воздействия на массивы грунтов / В.В. Капустин, М.Л. Владов, В.А. Волков, Е.А. Вознесенский // Грунтоведение. – 2021. – № 1 (16). – С. 65–76. DOI: 10.53278/2306-9139-2021-l-16-65-77

2. Канев Н.Г. Защита зданий от вибрации наземного рельсового транспорта // Защита от повышенного шума и вибрации: Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19–21 марта 2019 года / Под ред. Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Институт акустических конструкций», 2019. – С. 108–117.

3. Оценка влияния числа подвижных источников на шум и вибрации в городской среде вблизи транспортных магистралей / А.А. Локтев, Л.А. Илларионова, А.А. Соколов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 3. – С. 75–84. DOI: 10.15593/24111678/2023.03.08

4. Коншин Г.Г., Шмаков А.П. Вибрации грунта земляного полотна // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 11. – С. 31–35.

5. Соколов Д.А., Головина Е.И. Визуальное представление воздействия виброакустического фактора от железнодорожного транспорта на селитебную зону // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2024. – № 1 (28). – С. 118–125. DOI: 10.36622/2541-9110.2024.28.1.012

6. ГОСТ Р 53964-2010. Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082715> (дата обращения: 21.08.2025).

Проверка правильности определения бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови методом ИСП-МС

А.Е. Николаева, Е.А. Сухих, А.В. Недошитова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В рамках исследования проведена процедура валидации авторской методики МУК 4.1.3230-14 для определения массовых концентраций бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови, не входящих в аттестованную область применения указанной методики. В работе представлены параметры настройки масс-спектрометра Agilent 7900 (Сингапур) для количественного анализа восьми элементов в широком диапазоне концентраций. Обоснован выбор и применение внутреннего стандарта для учета матричных эффектов и повышения точности измерений. Оптимизация условий подготовки проб выполнена с использованием микроволновой системы и кислотного растворения в термоблоке: скорректированы время и температура нагрева для обеспечения эффективного разложения органической матрицы. Разработан алгоритм процедуры подготовки крови к анализу двумя методами, а также установлен порядок проведения измерений. В рамках исследования определены показатели чувствительности – лимит обнаружения (LOD) и лимит количественного определения (LOQ), что важно

для интерпретации результатов при низких концентрациях анализируемых элементов. Проверка правильности метода осуществлялась с помощью метода добавок, который позволяет оценить влияние матрицы пробы на результат анализа путём имитации присутствия аналита в реальных условиях. Результаты показали извлечение добавки по всем элементам в диапазоне от 86 до 114 % от внесённого количества, что свидетельствует о высокой точности и надёжности разработанной методики.

Ключевые слова: кровь, металлы, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, проверка правильности, валидация.

В условиях современного промышленного производства бериллий, кобальт, мышьяк, молибден, кадмий, олово, сурьма и свинец приобретают всё большую значимость благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам [1–6]. Несмотря на их широкое применение, токсичность этих металлов вызывает серьёзные опасения в отношении здоровья населения и окружающей среды. Эти элементы и их соединения обладают канцерогенными, аллергенными и нейротоксическими свойствами, что подчеркивает необходимость систематического мониторинга их содержания [1, 7–14]. Такой контроль является важной составляющей клинико-диагностических исследований для оценки состояния здоровья работников промышленных предприятий и населения в районах с повышенной экспозицией. Мониторинг осуществляется в соответствии с современными гигиеническими нормативами, зафиксированными в СанПиН 1.2.3685-21 [15]. Особое значение придается биомониторинговым исследованиям, позволяющим определить элементный состав крови и служащим важным инструментом в доказательной медицине для оценки рисков, связанных с воздействием указанных элементов. Одним из передовых методов аналитического определения является масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) [16]. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования аналитических методик для точного определения концентраций металлов на безопасных уровнях, особенно при воздействии высоких концентраций.

Ранее в лаборатории методов элементного анализа ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» была разработана методика МУК 4.1.3230-14 «Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» [17], однако бериллий, кобальт, мышьяк, молибден, кадмий, олово, сурьма и свинец не входили в её аттестованную область применения.

Цель исследования – проведение комплексной валидации методики МУК 4.1.3230–14 для определения массовых концентраций бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови.

Материалы и методы. Для количественного определения элементов в образцах крови использовали ИСП-МС на приборе Agilent 7900 (Agilent Technologies, Сингапур) с октопольной реакционно-столкновительной ячейкой (ORS). В качестве газа-носителя использовали аргон высокой чистоты (99,998 %), а в качестве реакционного газа – гелий высокой чистоты (99,995 %). Для введения проб применялась двухканальная распылительная камера Скотта. Анализ проводился в реакционном режиме при следующих условиях: мощность высокочастотного сигнала – 1500 Вт; температура распылительной камеры – 2,0 °С; скорость подачи

образца – 0,4 мл/мин; расстояние от горелки до отбирающего конуса – 9,0 мм; поток газа-носителя – 1,05 л/мин; поток поддувочного газа – 0,13 л/мин. Для заполнения ORS использовался гелий со скоростью 4,2 мл/мин.

Вся лабораторная посуда промывалась в ультразвуковой мойке Elmasonic S 100H (Германия) по следующему режиму: 20 минут в бидистиллированной воде при 55 °С, затем 20 минут в водном растворе азотной кислоты (1:5) при 55 °С и далее 20 минут в деионизованной воде при 55 °С. Для приготовления растворов и подготовки проб использовалась деионизованная вода с удельным сопротивлением 18,2 Мом·см (Millipor SAS, Франция). Для отбора жидкостей применялись механические дозаторы объемом 1–5, 0,1–1 и 0,02–0,2 мл, оснащённые одноразовыми наконечниками (BIONIT PROLINE, Финляндия). Для приготовления растворов применялась азотная кислота особой степени чистоты (Merck, Германия).

Настройка чувствительности масс-спектрометра осуществлялась с помощью комплексного тюнингового раствора, содержащего по 1 мкг/л элементов ^7Li , ^{59}Co , ^{89}Y и ^{205}Tl в 2 % водном растворе азотной кислоты (Inorganic Ventures, Tuning Solution, США). В качестве контрольных образцов применяли сертифицированные референтные материалы крови Seronorm™ L1, L2 и L3 (Sero AS, Норвегия), обладающие аттестованным содержанием элементов.

Для повышения точности анализа использовали многоэлементный внутренний стандартный раствор (BC), содержащий ^{209}Bi , ^{72}Ge , ^{115}In , ^6Li , ^{45}Sc , ^{159}Tb и ^{89}Y . Лабораторную посуду для подготовки проб очищали в ультразвуковой мойке Elmasonic S 100H (Германия).

Рабочие градуировочные растворы готовили на основе стандартных растворов, содержащих по 10 мг/л элементов Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, U, V и Zn в 5 % водном растворе азотной кислоты (STOCK-27, Inorganic Ventures, США). Аналогично готовили растворы с концентрацией 10 мг/л элементов Ge, Hf, Mo, Nb, Sb, Si, Sn, Ta, Te, Ti, W и Zr в 3% водном растворе азотной кислоты (IV-ICP-MS-71B, Inorganic Ventures, США).

Кровь отбиралась из вены в одноразовые вакуумные пробирки из полипропилена с добавленным антикоагулянтом. Образцы хранились в холодильнике при температуре от 0 °С до 4 °С в течение 3 суток, а при необходимости возможна длительная замороженная сохранность.

Для минерализации крови использовались системы разложения проб HotBlock (Environmental Express, США), а также микроволновые системы SW-4 (Berghof, Германия) и Multiwave GO (Anton Paar, Австрия).

Результаты. В ходе исследования необходимо было пересмотреть авторскую методику МУК 4.1.3230–14 и выполнить её валидацию в связи с модификацией, обусловленной расширением области применения на восемь химических элементов.

Проведен эксперимент по подбору химических элементов в качестве ВС и выбору изотопов для проведения измерений. Масса определяемых изотопов: ^9Be , ^{59}Co , ^{98}Mo , ^{120}Sn , ^{121}Sb , ^{75}As , ^{111}Cd и ^{208}Pb . При выборе внутреннего стандарта атомная масса ВС должна максимально приближаться к атомной массе анализируемых элементов. Это позволяет снизить возможные погрешности, связанные с различиями в массах, и обеспечить более точное коррелирование сигналов при анализе [18, 19]. В качестве внутреннего стандарта для ^9Be , ^{75}As и ^{59}Co выбран ^{72}Ge , для ^{98}Mo , ^{120}Sn , ^{121}Sb , ^{208}Pb – ^{159}Tb , для ^{111}Cd – ^{115}In . Процент раскрываемости проб на различных уровнях

(L1, L2, L3) составил: для ^9Be – L2 – 100,6 %, L3 – 100,0 %; для ^{59}Co – L1 – 102,27 %, L2 – 99,8 %, L3 – 80,55 %; для ^{98}Mo – L1 – 101,35 %, L2 – 100,0 %, L3 – 100,52 %; для ^{120}Sn – L1 – 100,0 %, L2 – 100,16 %, L3 – 100,33 %; для ^{121}Sb – L1 – 100,68 %, L2 – 99,83 %, L3 – 99,93 %; для ^{75}As – L1 – 100,9 %, L2 – 100,3 %, L3 – 100,3 %; ^{111}Cd – L1 – 99,4 %, L2 – 100,5 %, L3 – 100,3 % и ^{208}Pb – L1 – 101,0 %, L2 – 100,1 %, L3 – 99,93 %.

Проведена оптимизация условий гомогенизации крови при использовании термоблока. К пробам крови объемом 0,1 мл добавляли 0,1 мл комплексного раствора ВС и концентрированную азотную кислоту в соотношении 1:2. Затем смесь выдерживали при температуре 70–90 °С до гомогенизации. Эксперимент показал, что при температуре 90 °С гомогенизация достигается за 80 мин, при снижении температуры до 80 °С – за 3–4 часа, а при 70 °С – до 6 часов. Повышение температуры до 90 °С обеспечило более эффективное разложение органической матрицы и позволило отказаться от стадии центрифугирования проб. Процент извлечения всех элементов в стандартных образцах крови уровней L1–L3 при различных температурных режимах составляет 91–104 %.

Для кислотного разложения проб крови при высоком давлении и температуре использовали микроволновую систему. В 0,5 мл крови добавляли 3,5 мл концентрированной азотной кислоты и 1 мл деионизованной воды, после чего смесь помещали в кварцевые вкладыши и подвергали микроволновой обработке при давлении 40 бар и температуре 190 °С. Этот способ эффективно устраняет влияние матрицы, что подтверждается уровнем извлечения элементов в стандартных образцах крови уровней L1–L3, составившим 86–114 %.

Процедура подготовки проб крови двумя методами и порядок проведения измерений представлены на рис. 1.

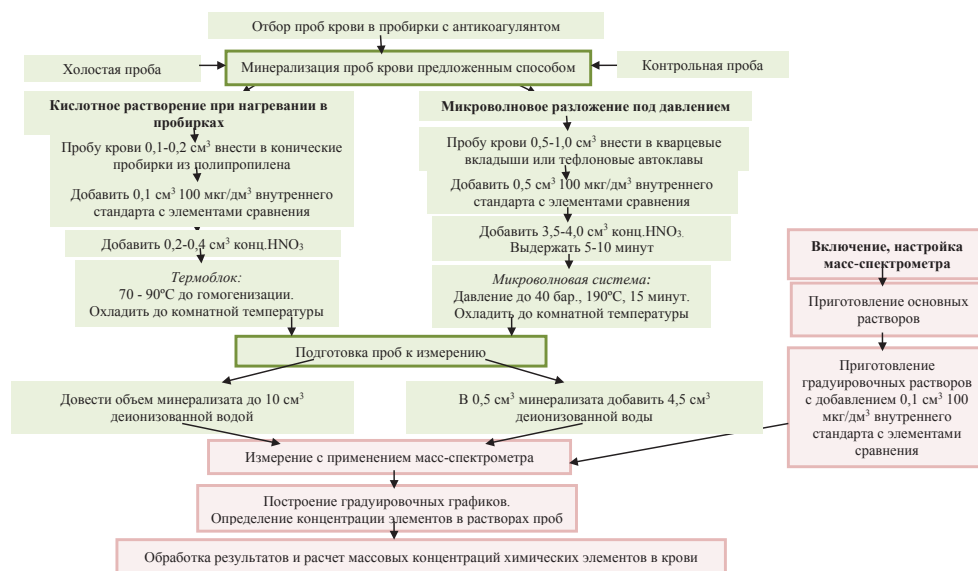


Рис. 1. Алгоритм определения массовых концентраций химических элементов в крови

Для определения LOD были проведены измерения аналитических веществ в 20 контрольных пробах, подготовленных по аналогии с образцами крови. Для определения LOQ использовались данные, полученные при оценке LOD, и он был рассчитан как десятикратное значение стандартного отклонения среднего результата анализа контрольных проб. Полученные в ходе экспериментальных исследований значения LOD и LOQ позволяют осуществлять измерения химических элементов на уровне, соответствующем данным, представленным в научной литературе [20–29]. Значения LOD и LOQ приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета пределов обнаружения, количественного определения

	Be	Co	As	Mo	Cd	Sn	Sb	Pb
Среднее (n = 20)	0,0008	0,00041	0,00099	0,0018	0,00049	0,0019	0,0003	0,001
Стандартное отклонение	0,00016	0,00048	0,0001	0,000196	0,00005	0,0002	0,00003	0,0001
LOD, мкг/дм ³	0,00048	0,00015	0,0003	0,00059	0,00015	0,0006	0,00009	0,0003
LOQ, мкг/дм ³	0,0016	0,00048	0,001	0,00196	0,0005	0,002	0,0003	0,001

Проведено исследование для подтверждения пригодности методики определения массовых концентраций элементов с использованием метода добавок. Данный аналитический подход применялся для компенсации матричных эффектов, которые могут оказывать влияние на точность измерений. Он особенно эффективен в случаях, когда компоненты матрицы образца могут искажать сигнал, получаемый в процессе масс-спектрометрического анализа [30]. Использование этого метода позволяет валидировать методику и подтвердить её точность и надежность [31].

К пробам крови перед анализом были внесены добавки измеряемых элементов в количествах, соответствующих их содержанию в пробе [32]. Образцы крови с добавками были измерены в условиях повторяемости. Результаты измерения проб с добавками и степень обнаружения введенного аналита представлены в таблице 2.

Полученные данные подтверждают высокую эффективность и надежность валидируемого метода для точного определения массовых концентраций бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови, что обеспечивает его практическое применение в биомедицинских исследованиях.

Т а б л и ц а 2

Результаты измерения проб с добавками, мкг/дм³

Определяемый элемент	Введено, мкг/дм ³	Найдено, мкг/дм ³	Степень извлечения, %
Бериллий	0,1	0,096–0,104	96–104
	1,0	0,999–1,05	100–105
	5,0	4,99–5,06	99–101

Определяемый элемент	Введено, мкг/дм ³	Найдено, мкг/дм ³	Степень извлечения, %
Кобальт	0,1	0,097–0,117	97–117
	1,0	0,96–1,02	96–102
	5,0	4,94–5,50	99–110
Мышьяк	1,0	0,994–1,206	99–120
	5,0	4,99–5,05	100–101
	10,0	9,98–10,07	100–101
Молибден	0,1	0,086–0,112	86–112
	1,0	0,97–1,08	97–108
	5,0	4,94–5,35	99–107
Кадмий	0,1	0,098–0,114	98–114
	1,0	0,93–1,02	93–102
	5,0	4,97–5,06	99–101
Олово	0,1	0,086–0,098	86–98
	1,0	0,91–1,06	91–106
	5,0	4,94–5,07	99–101
Сурьма	0,4	0,38–0,41	94–103
	1,0	0,97–1,08	97–108
	5,0	4,94–5,20	99–104
Свинец	1,0	0,99–1,13	99–113
	5,0	4,84–5,67	97–113
	10,0	9,93–10,12	99–101

Заключение. В ходе исследования подтверждена пригодность валидируемой методики МУК 4.1.3230-14 «Измерение массовых концентраций химических элементов в биосредах (кровь, моча) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» для одновременного определения массовых концентраций бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови, что обеспечивает ее надежность и точность при анализе указанных элементов.

Для каждого анализа были выбраны внутренние стандарты, скорректированы параметры времени и температуры при подготовке проб крови. Рассчитаны пределы обнаружения и количественного определения. Также выполнены предварительные расчеты показателей правильности.

Разработана схема подготовки проб и проведения измерений массовых концентраций химических элементов в крови с использованием метода ИСП-МС.

Использование метода добавок и стандартных образцов Seronorm™ L1, L2, L3 в комбинации с масс-спектрометрией позволяет точно определять уровни бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови, что является важным инструментом для диагностики и оценки состояния здоровья при заболеваниях, связанных с нарушением их баланса.

Список литературы

1. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. – М.: Издательский дом «Оникс», 2004. – 272 с.
2. In silico design of novel NRR electrocatalysts: cobalt-molybdenum alloys / B. Castellano-Varona, M. Harb, J. Araújo-Mesa, L. Cavallo, L.M. Azofra // *Chemical Communications*. – 2020. – Vol. 56. – P. 13343–13346. DOI: 10.1039/d0cc05921h
3. Application of MoS₂ in the cathode of lithium sulfur batteries / Y. Liu, C. Cui, Y. Liu, W. Liu, J. Wei // *RSC Advances*. – 2020. – Vol. 10, № 13. – P. 7384–7395. DOI: 10.1039/c9ra09769d
4. Assessment of molybdenum application on soybean physiological characteristics in maize-soybean intercropping / Z.H. Jamali, S. Ali, M. Qasim, C. Song, M. Anwar, J. Du, Y. Wang // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1240146. DOI: 10.3389/fpls.2023.1240146
5. Баранов А.В. Олово. Обзор текущего потребления в мире. Добыча в России // *Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, Москва, 25 апреля 2023 года.* – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АЛЕФ», 2023. – С. 187–191.
6. Слесарев В.И. Основы химии живого. – СПб.: Химиздат, 2001. – 782 с.
7. Элленхорн М.Дж. Медицинская токсикология: диагностика и лечение отравлений у человека: в 2 томах. – М.: Медицина, 2003. – Т. 2. – 1044 с.
8. Барашков Г.К. Медицинская бионеорганика. – М.: Бином, 2011. – 512 с.
9. Biomonitoring Equivalents for molybdenum / S.M. Hays, K. Macey, D. Poddalga, M. Lu, A. Nong, L.L. Aylward // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. – 2016. – Vol. 77. – P. 223–229. DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.03.004
10. Brätter P., Forth W., Fresenius W. Mineralstoffe und Spurenelemente Hrsbg: Bertelsmann Stiftung. – Gutersloh.: Verlag Bertelsmann Stiftung, 1992.
11. Trace elements status in diabetes mellitus type 2: Possible role of the interaction between molybdenum and copper in the progress of typical complications / C.R. Flores, M.P. Puga, K. Wrobel, M.E.G. Sevilla, K. Wrobel // *Diabetes research and clinical practice*. – 2011. – Vol. 91, № 3. – P. 333–341. DOI: 10.1016/j.diabres.2010.12.014
12. De Azevedo S.V., Moreira F.R., Campos R.C. Direct determination of tin in whole blood and urine by GF AAS // *Clinical Biochemistry*. – 2013. – Vol. 46, № 1–2. – P. 123–127. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2012.09
13. Sherstneva A.A., Galchenko A.V. Anthropogenic pollution by chemical elements (post-transition metals): Al, Ga, In, Sn, Tl, Pb, Bi // *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. – 2023. – Vol. 24, № 2. – P. 25–35.
14. Uncertainty of inductively coupled plasma mass spectrometry based measurements: an application to the analysis of urinary barium, cesium, antimony and tungsten / A. Alimonti, G. Forte, S. Spezia, A. Gatti, G. Mincione, A. Ronchi, C. Minoia // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. – 2005. – Vol. 19, № 21. – P. 3131–3138. DOI: 10.1002/rcm.2180

15. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 года № 2, введены в действие 01.03.2021. – М., 2021. – 469 с.

16. Определение микроэлементов в биологических жидкостях / Н.Б. Иваненко, А.А. Ганеев, Н.Д. Соловьев, Л.Н. Москвин // Журнал аналитической химии. – 2011. – Т. 66, № 9. – С. 900–915.

17. МУК 4.1.3230–14. Определение химических соединений и элементов в биологических средах: Сборник методических указаний. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзор. – М., 2015. – 168 с.

18. Музгин В.Н., Емельянова Н.Н., Пупышев А.А. Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой – новый метод в аналитической химии // Аналитика и контроль. – 1998. – № 3–4. – С. 3–25.

19. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды / В.К. Карандашев, А.Н. Туранов, Т.А. Орлова, А.Е. Лежнев, С.В. Носенко, Н.И. Золотарева, И.Р. Москвина // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – Т. 73, № 1. – С. 12–22.

20. Heitland P., Köster H.D. Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP–MS // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2006. – Vol. 20, № 4. – P. 253–262. DOI: 10.1016/J.JTEMB.2006.08.001

21. Development of methods for the quantification of essential and toxic elements in human biomonitoring / B. Bocca, G. Forte, F. Petrucci, O. Senofonte, N. Violante, A. Alimonti // Annali-Istituto Superiore Di Sanita. – 2005. – Vol. 41, № 2. – P. 165.

22. Metal and metalloid multi-elementary ICP-MS validation in whole blood, plasma, urine and hair: Reference values / J.-P. Goullé, L. Mahieu, J. Castermant, N. Neveu, L. Bonneau, G. Lainé, C. Lacroix // Forensic science international. – 2005. – Vol. 153, № 1. – P. 39–44. DOI: 10.1016/j.forsciint.2005.04.020

23. Development of a routine method for the determination of trace metals in whole blood by magnetic sector inductively coupled plasma mass spectrometry with particular relevance to patients with total hip and knee arthroplasty / C.P. Case, L. Ellis, J.C. Turner, B. Fairman // Clinical Chemistry. – 2001. – Vol. 47, № 2. – P. 275–280. DOI: 10.1093/clinchem/47.2.275

24. Simultaneous quantification of 17 trace elements in blood by dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry (DRC-ICP-MS) equipped with a high-efficiency sample introduction system / S. D'Ilio, N. Violante, M. Di Gregorio, O. Senofonte, F. Petrucci // Analytica chimica acta. – 2006. – Vol. 579. – P. 202–208. DOI: 10.1016/j.aca.2006.07.027

25. Determination of 60 elements in whole blood by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry / I. Rodushkin, F. Ödman, R. Olofsson, M.D. Axelsson // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 2000. – Vol. 15, № 8. – P. 937–944. DOI: 10.1039/b003561k

26. Factors Influencing Trace Element Levels in the Blood of Tin Smelting Workers / L. Zhang, B. Wang, H. Shen, H. Zhang, H. Liu, L. Zhong, D. Liu, D. Jiang, Y. Zhu, B. Zhu, L. Han // Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2022. – Vol. 64, № 7. – P. e403–e408. DOI: 10.1097/JOM.0000000000002554

27. Heavy metals in maternal and cord blood in Beijing and their efficiency of placental transfer / A. Li, T. Zhuang, J. Shi, Y. Liang, M. Song // Journal of Environmental Sciences. – 2019. – Vol. 80. – P. 99–106. DOI: 10.1016/j.jes.2018.11.004

28. Ribosomal DNA copy number associated with blood metal levels in school-age children: A follow-up study on a municipal waste incinerator in Zhejiang, China / P. Xu, L. Feng, D. Xu, L. Wu, Y. Chen, J. Xiang, P. Cheng, X. Wang, J. Lou, J. Tang, X. Lou, Z. Chen // Chemosphere. – 2022. – Vol. 307. – P. 135676. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.135676

29. Wu C.C., Chen Y.C. Assessment of industrial antimony exposure and immunologic function for workers in Taiwan // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14, № 7. – P. 689. DOI: 10.3390/ijerph14070689

30. Human biomonitoring for metals in Italian urban adolescents: Data from Latium Region / A. Pino, A. Amato, A. Alimonti, D. Mattei, B. Bocca // International journal of hygiene and environmental health. – 2012. – Vol. 215, № 2. – P. 185–190. DOI: 10.1016/j.ijheh.2011.07.015

31. Валидация методик химического анализа: практический пример / М.Ю. Медведевских, М.П. Крашенинина, А.С. Сергеева, В.Б. Барановская // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2020. – Т. 86, № 8. – С. 72–79. DOI: 10.26896/1028-6861-2020-86-8-72-79

32. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 61-2010. Государственная система обеспечения единства измерений. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки. – М.: Стандартинформ, 2012. – 58 с.

Маркеры запрограммированной клеточной гибели и полиморфизм гена *TNF* (rs1800629) у детей в условиях аэрогенного воздействия внешнесредовых химических факторов (на примере бенз(а)пирена)

Н.А. Никоношина, О.В. Долгих

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Проанализированы особенности экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели и специфической гаптенной сенсибилизации, ассоциированные с полиморфными вариантами гена *TNF* (rs1800629), у детей в условиях аэрогенной экспозиции экзогенными химическими факторами (на примере бенз(а)пирена). У детей, проживающих в условиях внешнесредового воздействия бенз(а)пирена в концентрации 7,3 ПДК_{сс}, установлены признаки контаминации крови бенз(а)пиреном, уровень которой достоверно

превышает аналогичное значение у детей на условно чистой территории ($p < 0,05$). Иммунный профиль детского населения промышленного центра отличается повышением процентного содержания AnnexinV-FITC+7AAD-клеток, плотности мембранных рецепторов TNFR и уровней продукции проапоптотического внутриклеточного белка Вах и IgG к бенз(а)пирену, что указывает на признаки активации запрограммированной клеточной гибели и формирования специфической гаптенной гиперсенситизации в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном. Установленные изменения иммунного профиля обследованного контингента (повышение AnnexinV-FITC+7AAD-, Вах, TNFR, IgG к бенз(а)пирену), ассоциированные с G-аллелем и GG-генотипом гена *TNF* (rs1800629) (OR = 1,61–1,98; RR = 1,52–1,86; $p < 0,05$), характеризуют особенности модификации запрограммированной клеточной гибели и её генетическую детерминацию у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном, и могут быть использованы в качестве маркеров эффекта и чувствительности к экзогенному воздействию бенз(а)пирена в крупных промышленных центрах.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, дети, иммунный профиль, апоптоз, Fas-рецептор.

Бенз(а)пирен – один из наиболее распространённых органических загрязнителей атмосферного воздуха крупных промышленных центров с иммунотоксическим, мутагенным и канцерогенным свойствами [1]. Хроническая аэрогенная экспозиция бенз(а)пиреном может индуцировать дисбаланс процессов клеточной пролиферации и запрограммированной клеточной гибели путём повышения риска развития иммунодефицитных состояний при гиперактивации апоптоза иммунцитов, либо образования злокачественных новообразований – при угнетении запрограммированной гибели клеток с генетическими нарушениями, поскольку иммунная система крайне чувствительна к воздействию внешнесредовых факторов различной природы [2, 3].

Апоптоз – это генетически запрограммированная и эволюционно стабильная, индуцированная экзогенными и эндогенными факторами различной природы гибель клеток, которая играет важную роль в процессе онтогенеза и для поддержания клеточного гомеостаза во взрослом целостном организме [2, 3].

Адаптационный потенциал организма в условиях внешнесредового воздействия химических факторов окружающей среды определяется не только характеристиками субпопуляционного состава лимфоцитов и особенностями запрограммированной клеточной гибели, но и зависит от их генетической predisposedности [4]. Так, определённые полиморфные варианты кандидатных генов иммунной регуляции могут быть ассоциированы с угнетением функциональной активности продуктов их экспрессии – рецепторов, транскрипционных и других регуляторных факторов, что может привести к нарушениям иммунного ответа и апоптоза [5, 6]. В частности, полиморфные варианты гена *TNF* (rs1800629) могут определять уровень экспрессии фактора некроза опухоли ($\text{TNF}\alpha$) – ключевого мультисигнального цитокина, регулирующего процессы активации, дифференцировки и запрограммированной клеточной гибели иммунокомпетентных клеток, а также индукцию воспалительных реакций и регуляцию врождённого иммунитета [7].

Следовательно, изучение молекулярных и клеточных индикаторов запрограммированной клеточной гибели и её генетической детерминации у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном представляется актуальным направлением в аспекте идентификации и научного обоснования комплекса специфических высокотехнологичных маркеров эффекта и чувствительности воздействия внешнесредовых химических факторов на здоровье детского населения промышленно развитых территорий с целью последующего их использования в профилактике и ранней диагностике патологий, ассоциированных с нарушениями клеточного гомеостаза.

Цель работы – изучить особенности экспрессии маркеров апоптоза и специфической гаптенной сенсибилизации, ассоциированных с полиморфными вариантами гена *TNF* (rs1800629), у детей в условиях аэрогенной экспозиции химическими факторами (на примере бенз(а)пирена).

Материалы и методы. Проведено клинико-лабораторное обследование детей ($n = 517$) дошкольного возраста (3–6 лет). Группу наблюдения составили дети ($n = 376$), проживающие в крупном промышленном центре цветной металлургии. В группу сравнения включены дети ($n = 141$), проживающие на соответствующей условно чистой территории. Обследованные выборки сопоставимы по половозрастному, социальному и этническому составу.

Исследование выполнено с соблюдением этических требований Хельсинкской декларации ВМА 2000 г. и протокола Конвенции Совета Европы о правах человека и биомедицине 1999 г. Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Протокол № 23 от 20.12.2021). Для участников исследования было получено информированное согласие.

Определение концентрации бенз(а)пирена в крови обследованных детей и в атмосферном воздухе территорий проживания обследованных детей проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе Agilent 1200 («Agilent Technologies Inc.», США) в соответствии с МУК 4.1.3040-12 и МУК 4.1.1273-03.

Идентификацию внутриклеточных и мембранных маркеров апоптоза проводили методом проточной цитофлюориметрии на приборе FACSCalibur («Becton Dickinson», США) с использованием универсальной программы «CellQuestPro». Определение внутриклеточного маркера апоптоза – белка Вах и мембранного рецептора $TNF\alpha$ – $TNFR$ проводили с помощью моноклональных антител («Becton Dickinson», USA). Интенсивность запрограммированной гибели лимфоцитов оценивали по результатам окрашивания аннексином V-FITC и йодидом пропидия («Becton Dickinson», USA). Уровень продукции специфического IgG к бенз(а)пирену определяли посредством аллергосорбентного тестирования с ферментной меткой.

Идентификация однонуклеотидного полиморфизма (SNP) гена рецептора фактора некроза опухоли ($TNF\alpha$) – *TNF* (rs1800629) с применением методики полимеразной

цепной реакции (ПЦР) в режиме реального времени на приборе CFX96 Real Time System C1000 Thermal Cycler (BioRAD, Singapour).

Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 10.0. посредством однофакторного дисперсионного анализа ANOVA в программе Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Результаты статистической обработки представлены в виде среднего арифметического и его стандартной ошибки. Вид распределения данных определяли с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Для оценки уровня достоверности различий множественного сравнения применяли критерий Тьюки-Крамера. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$. Результаты исследования представлены в виде среднего арифметического ($\bar{X}$) и стандартной ошибки (SE) значений проанализированных показателей. Расчет распределения частот генотипов и аллелей по равновесию Харди-Вайнберга, а также показателя отношения шансов OR, отношения рисков RR и их 95%-ного доверительного интервала (CI) в группах наблюдения и сравнения проводился с помощью унифицированных онлайн-программ «SNPStat» и «Gen-Expert», применяемых для расчета статистических параметров для исследований «случай–контроль» с использованием SNP-диагностики однонуклеотидных полиморфизмов. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты. В результате гигиенической оценки качества атмосферного воздуха крупного промышленного центра установлено, что средняя концентрация бенз(а)пирена в точках проживания населения составляет 7,3 ПДК_{сс}, что превышает установленные гигиенические нормативы. При этом содержание бенз(а)пирена в атмосферном воздухе условно чистой территории сравнения определяется на уровне 0,8 ПДК_{сс}, не превышая установленные нормативные значения.

Результаты химико-аналитического исследования биосред обследованного детского населения демонстрируют избыточную контаминацию крови бенз(а)пиреном. Так, содержание бенз(а)пирена в крови 72,9 % (274) детей в группе наблюдения ($0,00239 \pm 0,000363$ мкг/дм³) достоверно превышает как значение данного показателя в группе сравнения ($0,001086 \pm 0,000297$ мкг/дм³), так и его референтный уровень – 0 мкг/дм³ ($p = 0,001$).

В результате клинико-лабораторного обследования детского населения в сравниваемых выборках выявлены изменения уровней экспрессии мембранных и внутриклеточных маркеров и регуляторных факторов запрограммированной клеточной гибели – апоптоза. Так, относительное содержание AnnexinV-FITC+7AAD-клеток на ранней стадии апоптоза у 52,7 % (198) детей в группе наблюдения в 2,1 раза превышает значение данного показателя в группе сравнения и превосходит верхнюю границу референтного диапазона ($p = 0,005$) (табл. 1).

Увеличение процентного содержания AnnexinV-FITC+7AAD-клеток у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном наблюдается одновременно с повышением уровня продукции внутриклеточного регуляторного белка Вах и уровня экспрессии мембранного рецептора фактора некроза опухоли (TNF α) – TNFR, задействованных в активации и ускорении запрограммированной клеточной гибели.

Т а б л и ц а 1

Маркеры запрограммированной клеточной гибели и специфической гаптенной сенсибилизации у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном

Показатель	Референтный диапазон	Группа наблюдения (n = 376)	Группа сравнения (n = 141)	p
AnnexinV-FITC ⁺ 7AAD ⁻ клетки, %	1,5–2,5	2,845 ± 0,494*	1,354 ± 0,204	0,005
Вах, %	5–9	7,71 ± 0,34	6,70 ± 0,19	0,01
IgG к бенз(а)пирену, у.е.	0–0,3	0,208 ± 0,014	0,082 ± 0,02	0,001
TNFR, %	1–1,5	3,857 ± 0,562*	0,568 ± 0,017	0,002

П р и м е ч а н и е: * – значение превышает верхнюю границу референтного интервала (p < 0,05)

Так, уровень продукции внутриклеточного проапоптотического регуляторного белка Вах у детей в группе наблюдения повышен в 1,2 раза относительно группы сравнения (p = 0,01). При этом плотность мембранных рецепторов TNFα – TNFR у детей в условиях внешнесредового воздействия бенз(а)пирена в 2,6 раза превышает её верхний уровень референтного интервала и в 6,8 раз – значение данного показателя в группе сравнения (p = 0,002).

Выявленные изменения экспрессии маркеров запрограммированной клеточной гибели у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном реализуются на фоне формирования специфической гаптенной гиперсенсибилизации. Установлено, что у детей в группе наблюдения наблюдаются признаки 2,5-кратного повышения уровня продукции специфического IgG к бенз(а)пирену относительно группы сравнения в пределах референтного уровня.

Выявленные изменения клеточного и гуморального иммунного профиля детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном ассоциированы с типичным G-аллелем (мультипликативная модель наследования; OR (95% CI) = 1,61 (1,05–2,47); RR = 1,52 (1,03–2,15); p = 0,03) и соответствующим гомозиготным GG-генотипом (аддитивная модель наследования; OR (95% CI) = 1,98 (1,22–3,20); RR = 1,86 (1,04–2,38); p = 0,02) гена TNFα - *TNF* (rs1800629) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Распределение частот аллелей и генотипов гена *TNF* (rs1800629) у детей в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном

SNP	Генотип/ аллель	Группа наблюдения (n = 376)	Группа сравнения (n = 141)	OR (95 % CI)
<i>TNF</i> (rs1800629)	GG	0,773	0,632	1,98 (1,22–3,20)
	GA	0,205	0,361	0,45 (0,28–0,74)
	AA	0,023	0,006	3,58 (0,40–32,39)
	G	0,924	0,851	1,61 (1,05–2,47)
	A	0,076	0,149	0,62 (0,41–0,95)

П р и м е ч а н и е: $\chi^2[(GG)TNF]^2 = 5,22$, p = 0,02; $\chi^2[(G)TNF]^2 = 4,88$, p = 0,03

Следовательно, выявленные признаки активации процессов запрограммированной клеточной гибели на фоне специфической гиперсенситизации в условиях внешнесредового воздействия бенз(а)пирена могут быть обусловлены повышением плотности мембранного TNFR и генетически детерминированной гиперэкспрессией его лиганда – TNF α , их более активным связыванием, что приводит к инициации внешнего пути апоптоза [8].

Заключение. По результатам гигиенической оценки качества атмосферного воздуха на территориях проживания обследованных детей установлено, что содержание бенз(а)пирена в атмосферном воздухе промышленного центра составляет 7,3 ПДКсс, на условно чистой территории данного региона – 0,8 ПДКсс. Уровень контаминации крови бенз(а)пиреном у детей в группе наблюдения достоверно превышает его значение у детей на условно чистой территории данного региона ($p < 0,05$). Иммунный профиль детского населения промышленного центра характеризуется повышением процентного содержания AnnexinV-FITC+7AAD-клеток, уровня продукции проапоптотического внутриклеточного белка Вах и плотности мембранных рецепторов TNFR, а также формированием специфической гаптенной гиперсенситизации по критерию IgG к бенз(а)пирену. Выявленные особенности иммунной регуляции (повышение AnnexinV-FITC+7AAD-, Вах, TNFR, IgG к бенз(а)пирену) ассоциируются с G-аллелем и GG-генотипом гена *TNF* (rs1800629) ($OR=1,61-1,98$; $RR=1,52-1,86$; $p < 0,05$) и характеризуют особенности модификации запрограммированной клеточной гибели и её генетическую детерминацию у детей, проживающих в условиях аэрогенной экспозиции бенз(а)пиреном, и могут быть использованы в качестве иммунологических и генетических маркеров эффекта и чувствительности к бенз(а)пирену детского населения урбанизированных территорий для задач ранней донозологической диагностики нарушений клеточного гомеостаза.

Список литературы

1. Abd El-Fattah E.E., Abdelhamid A.M. Benzo[a]pyrene immunogenetics and immune archetype reprogramming of lung // *Toxicology*. – 2021. – Vol. 463. – P. 152994.
2. Early life exposure to air pollution and cell-mediated immune responses in pre-schoolers / Y.-L. Deng, J.-Q. Liao, B. Zhou, W.-X. Zhang, C. Liu, X.-Q. Yuan [et al.] // *Chemosphere*. – 2022. – Vol. 286, I. 3. – P. 131963.
3. Suzuki T., Hidaka T., Kumagai Y., Yamamoto M. Environmental pollutants and the immune response // *Nat Immunol*. – 2020. – Vol. 21, I.12. – P. 1486–1495.
4. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампеисов Т.М. Современные представления о клеточной гибели // *Гены и клетки*. – 2018. – № 1. – С. 6–19.
5. Долгих О.В., Никоношина Н.А. Аэрогенная экспозиция бенз(а)пиреном детей как фактор модификации генетически детерминированной клеточной гибели // *Гигиена и санитария*. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 482–487.
6. Артеменков А.А. Дезадаптивные генетикоэволюционные процессы в популяциях человека промышленных городов // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. – 2020. – Т. 28, № 2. – С. 234–248.

7. Evaluation of genetic polymorphisms in TNF- α -308G/A rs1800629 associated with susceptibility and severity of rheumatoid arthritis: A systematic review and meta-analysis / Y.L. Wang, X.Y. Li, L. Liu, S.F. Li, P.F. Han, X.D. Li // *Exp Ther Med.* – 2024. – Vol. 28, I. 1. – P. 279.

8. Guerrache A., Micheau O. TNF-Related Apoptosis-Inducing Ligand: Non-Apoptotic Signalling // *Cells.* – 2024. – Vol. 13, I. 6. – P. 521.

Аналитический обзор методов контроля содержания жирных кислот в моче

Т.В. Нурисламова, Е.А. Якушева, Д.Ю. Колмогорцева

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Аналитический обзор методов контроля содержания жирных кислот в моче включает в себя методы обнаружения и количественного определения жирных кислот, а также их метаболитов. Эти методы важны для диагностики различных метаболических нарушений, в том числе врожденных аномалий обмена веществ и нарушений окислительного стресса.

Выполнен аналитический обзор зарубежных и отечественных методик определения жирных кислот в биологических средах человека (моче). Временные границы анализируемого периода составили 33 года. Проанализированы зарубежные журналы по аналитической химии за 1986–2019 гг. («Mass Spectrometry Reviews», «Journal of Chromatography B», «Journal of Lipid Research», «Revista Romana de Medicina de Laborator», «Journal of Chromatography A», «Clinica Chimica Acta»), российские журналы по аналитической химии за 2015–2019 гг. («Журнал аналитической химии», «Российский вестник перинатологии и педиатрии») и российские методические материалы (2009 г.) «Оценка микробиологического статуса человека методом хроматомасс-спектрометрии».

Ключевые слова: газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, биологические среды, высокоэффективная жидкостная хроматография, жирные кислоты.

Известно, что жирные кислоты (ЖК) – это важные компоненты как животных, так и растительных жиров, и они являются существенным компонентом питания человека и играют важную физиологическую роль в организме. Они служат источником энергии, участвуют в построении клеточных мембран, поддерживают здоровье кожи и волос, а также способствуют нормальной работе сердца и мозга [1].

По химической структуре ЖК относятся к органическим карбоновым кислотам, содержащим от 12 до 24 атомов углерода. Как правило, ЖК нерастворимы в воде и в водных средах. Это связано с их гидрофобной (водоотталкивающей) природой, обусловленной длинной неполярной углеводородной цепью в их молекуле [2]. Они могут находиться в организме в свободном состоянии в клетках и тканях, но все же

большая их часть входит в состав молекул основных классов липидов, где они образуют эфирную связь между отрицательно заряженной карбоксильной группой ЖК и спиртовой группой холестерина (в эфирах холестерина), глицерина (в триглицеридах), фосфатидной кислоты (в фосфолипидах) [3].

Определение жирных кислот в биологических средах человека – важный этап для комплексной оценки состояния организма, профилактики и лечения различных заболеваний. Анализ жирнокислотного состава крови и других биологических сред позволяет выявить дефициты или избытки определенных жирных кислот, что может быть связано с развитием определенных патологий [4]. Это, в свою очередь, способствует более точной диагностике, выбору адекватной терапии и мониторингу эффективности лечения.

Возможность определения жирных кислот играет большую роль в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний, нарушения метаболизма [5]. Свободные жирные кислоты часто накапливаются в биологических жидкостях, таких как кровь и моча. С мочой выводятся из организма, а нарушение метаболизма приводит к патологическим последствиям. Помимо жирных кислот, свойственных для организма человека (их всего 25), в биологических жидкостях могут присутствовать и специфичные маркеры микроорганизмов, которых на данный момент насчитывается уже больше 250 [6, 7]. Стоит учитывать, что жирные кислоты присутствуют в организме как в свободном виде, так и в виде триглицеридов, и для установления полной картины нужны высокочувствительные методы исследования [3, 8]. Измерение содержания жирных кислот в биологическом материале является сложной аналитической задачей за счет влияния матрицы и трансформации жирных кислот в различные формы. Существует необходимость в поиске и разработке эффективного и селективного метода идентификации и количественного определения длинноцепочечных моно- и полиненасыщенных жирных кислот [9, 10].

В настоящее время в отечественных и зарубежных методиках для определения ЖК в моче повышенное внимание уделяется методу газовой хроматографии и высокоэффективной жидкостной хроматографии [11]. Газовая хроматография с тандемной масс-спектрометрией позволяет обнаруживать следовые количества жирных кислот в моче, что говорит о высокой чувствительности и селективности метода. Анализ позволяет определить уровень жирных кислот в моче, что может быть важным при диагностике метаболических нарушений, заболеваний печени, а также при наблюдении за состоянием пациентов с нарушениями липидного обмена.

Таким образом, для оценки уровня ЖК в организме и связанных с ними медицинских состояний проводят анализ крови и мочи. Определение уровня ЖК в организме помогает выявить дефициты (например, дефицит омега-3, который может приводить к психоэмоциональным расстройствам, ухудшению состояния кожи и волос, а также к повышенному риску сердечно-сосудистых заболеваний [12]). С другой стороны, чрезмерное накопление ЖК может быть связано с такими состояниями, как инсулинорезистентность и метаболический синдром. Поэтому своевременная оценка уровня ЖК и, при необходимости, коррекция рациона или назначение соответствующей терапии позволяет поддерживать здоровье и предотвращать развитие заболеваний [13]. В связи с этим в настоящее время актуальной задачей является аналитический обзор методик определения и контроля содержания жирных кислот в

биологических средах человека ввиду их важной роли в физиологических процессах и развитии различных заболеваний. Этот обзор включает как традиционные, так и современные методы анализа.

Цель – изучение зарубежного и отечественного опыта определения жирных кислот в биологических средах (кровь, моча).

Материалы и методы. Выполнен обзор зарубежной и отечественной литературы по методам определения жирных кислот в моче (ГХ-МС). Физико-химические методы, такие как газовая хроматография (ГХ) и масс-спектрометрия, соединенная с газовой хроматографией (ГХ-МС), широко используются для определения жирных кислот (ЖК) в моче. ГХ позволяет разделить компоненты образца, а масс-спектрометрия обеспечивает их идентификацию и количественное определение.

В аналитическом обзоре проанализированы литературные источники, касающиеся физико-химических методов контроля определения ЖК в моче. Временные границы анализируемого периода составили 33 года. Проанализированы следующие источники: 1) зарубежные журналы по аналитической химии за 1986–2019 гг. («Mass Spectrometry Reviews», «Journal of Chromatography B», «Journal of Lipid Research», «Revista Romana de Medicina de Laborator», «Journal of Chromatography A», «Clinica Chimica Acta»); 2) российские журналы по аналитической химии за 2015–2019 гг. («Журнал аналитической химии», «Российский вестник перинатологии и педиатрии»); 3) российские методические материалы «Оценка микроэкологического статуса человека методом хроматомасс-спектрометрии» (2009 г.).

Результаты.

Методики определения ЖК в моче, применяемые для контроля службами Роспотребнадзора.

По данным, приведенным Г.А. Осиповым [14], один из методов изначально был разработан группой российских ученых для определения маркеров микробных сообществ с целью диагностики воспалительных процессов в медицине, а также изучения состава микробиоты различных экосистем в экологии. Суть анализа состоит в прямом извлечении с помощью экстракции высших жирных кислот из подлежащего исследованию образца, их разделении на хроматографе в капиллярной колонке высокого разрешения и анализе состава на масс-спектрометре. Для подготовки проб к газохроматографическому анализу жидкие пробы высушивают и подвергают кислотному метанолизу в течение 1 часа при 80 °С. Далее проводят экстракцию гексаном, силилирование N,O-бис(триметил-силлил)-трифторацетамидом, и далее вводят в инжектор ГХ-МС 2 мкл реакционной смеси.

Также группой ученых [9] был разработан метод экстрактивного алкилирования иодистым метилом для определения ЖК в плазме крови и моче. Преимущество экстрактивного алкилирования – объединение стадий экстракции и получения летучих производных. Реакции протекают в мягких условиях, причем использование межфазных агентов позволяет значительно уменьшить продолжительность реакций и увеличить выходы продуктов.

Методики определения ЖК в моче, применяемые за рубежом.

Учеными из Греции (Ch. Christou, H.G. Gika, N. Raikos, G. Theodoridis) [15] был разработан метод определения жирных кислот в моче для диагностики у младенцев проблем с обменом веществ, вызванных дефектами в определенных генах, что в

последствии может привести к инвалидности и даже смерти. Контрольный образец был получен путем смешивания равных объемов мочи здоровых доноров и использовался во всех экспериментах при разработке и валидации метода. Свежие образцы мочи замораживали (при температуре -24°C) без добавления каких-либо консервантов. Дериватизация проводилась путем кислого метанолиза, с использованием 6М HCl, экстракция (в два этапа этилацетатом). Далее образец подвергали сушке и силилированию с помощью TMCS и BSTFA при нагревании до 50°C . Аликвоту в объеме 1 мкл вводили в аппарат ГХ-МС.

Cristina Legido-Quigleya, Cinzia Stella [16] проводили исследования для определения ЖК в моче у людей с определенной диетой. Метод дериватизации позволил перевести жирные кислоты в более устойчивые формы для анализа – сложные эфиры. Для этого аликвота мочи 2 мл была отрегулирована до pH 1 с использованием 250 мкл HCl (0,5 м, Sigma-Aldrich). Хлорид натрия (1,5) добавляли в образец для усиления разделения между органическим слоем и водным слоем. Органические кислоты в образцах мочи экстрагировали в 5 мл этилацетата путем механического встряхивания в течение 5 минут, и трубку немедленно центрифугировали в течение 5 минут. Органический слой сохраняли и подносили путем добавления 50 мкл 5 м NaOH в метанол, а затем переносили во вторую трубку, а растворитель испаряли при пониженном давлении с использованием потока газа азота. Объем 200 мкл смеси воды с 0,1%-ной муравьиной кислотой и ацетонитрилом (ACN) с 0,1%-ной муравьиной кислотой (50 : 50) добавляли в остаток, затем центрифугировали в течение 5 мин. Далее полученный элюат анализировали методом ВЭЖХ-МС.

Таким образом, отечественный и зарубежный опыт определения жирных кислот включает в себя использование различных аналитических методов, таких как газовая хроматография (ГХ), жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и масс-спектрометрия (МС), а также различные методы пробоподготовки. Оба подхода, как правило, используют экстракцию липидов из образцов, превращение их в метиловые эфиры для ГХ и последующий анализ на хроматографе с масс-селективным детектором.

Отечественные и зарубежные учёные используют газовую хроматографию для анализа метиловых эфиров жирных кислот. Однако зарубежный опыт может включать более широкий спектр методов ВЭЖХ и МС, а также более строгое следование международным стандартам. Отечественный опыт характеризуется использованием ГОСТов и более традиционных методов пробоподготовки. Важно, что оба подхода направлены на получение точных и надежных результатов для различных целей.

Определение жирных кислот в моче является перспективным неинвазивным направлением в **выявлении метаболических нарушений** в организме человека. В свою очередь свободные ЖК являются как маркерами для определения многих микроорганизмов, так и показателем нарушения обмена веществ. Исследования жирных кислот в моче помогает лучше понять метаболические цепи и механизмы развития заболеваний, что способствует развитию новых терапевтических подходов.

Список литературы

1. Перова Н.В. Нарушения липидного обмена, их диагностика и коррекция // Кардиология. Руководство для врачей / под ред. Р.Г. Оганова, И.Г. Фоминой. – М.: Медицина. 2004. – С. 54–101.

2. Borow K.M., Mason R.P., Vijayaraghavan K. Eicosapentaenoic acid as a potential therapeutic approach to reduce cardiovascular risk in patients with end-stage renal disease on hemodialysis: a review // *Cardiorenal medicine*. – 2017. – Vol. 8.1. – P. 18–30.
3. Jones P.M., Bennett M.J. Clinical applications of 3-hydroxy fatty acid analysis by gas chromatography–mass spectrometry // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*. – 2011. – Vol. 1811 (11). – P. 657–662.
4. Omega-3 fatty acids mediated Cellular signaling and its regulation in Human Health / A. Kar [et al.] // *Clinical Nutrition Open Science*. – 2023. – Vol. 52. – P. 72–86.
5. Harwood J.L. Polyunsaturated fatty acids: conversion to lipid mediators, roles in inflammatory diseases and dietary sources // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24 (10). – P. 8838.
6. Хромато-масс-спектрометрическое исследование микробных жирных кислот в биологических жидкостях человека и их клиническая значимость / А.Г. Платонова [и др.] // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 2015. – Т. 60, № 12. – С. 46–55.
7. Минорные жирные кислоты биологических жидкостей урогенитальных органов и их значимость в диагностике воспалительных процессов / Т.А. Крымцева [и др.] // *Журн. микроб. эпидем. имун.* – 2003. – № 2. – С. 92–101.
8. Хромато-масс-спектрометрическое определение свободных жирных кислот в плазме крови и моче с использованием экстрактивного алкилирования / А.И. Уколов [и др.] // *Журнал аналитической химии*. – 2015. – Т. 70, № 9. – С. 968–968.
9. Bielawska K., Dziakowska I., Roszkowska-Jakimiec W. Chromatographic determination of fatty acids in biological material // *Toxicology mechanisms and methods*. – 2010. – Vol. 20, № 9. – P. 526–537.
10. Dołowy M., Pyka A. Chromatographic methods in the separation of long-chain mono-and polyunsaturated fatty acids // *Journal of chemistry*. – 2015. – Vol. 2015, № 1. – P. 120830.
11. Tiuca I., Nagy K., Oprean R. Recent developments in fatty acids profile determination in biological samples-a review // *Revista Romana de Medicina de Laborator*. – 2015. – Vol. 23, № 4. – P. 371–384.
12. Arab L., Akbar J. Biomarkers and the measurement of fatty acids // *Public health nutrition*. – 2002. – Vol. 5 (6a). – P. 865–871.
13. Nagy K., Tiuca I. D. Importance of fatty acids in physiopathology of human body [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/54169> (дата обращения: 22.05.2025).
14. Осипов Г.А. Хромато-масс-спектрометрический анализ микроорганизмов и их сообществ в клинических пробах при инфекциях и дисбиозах // *Химический анализ в медицинской диагностике*. – М.: Наука, 2010. – С. 293–368.
15. GC-MS analysis of organic acids in human urine in clinical settings: a study of derivatization and other analytical parameters / C. Christou [et al.] // *Journal of chromatography B*. – 2014. – Vol. 964. – P. 195–201.
16. Legido-Quigley C. [et al.]. Liquid chromatography–mass spectrometry methods for urinary biomarker detection in metabolomic studies with application to nutritional studies // *Biomedical Chromatography*. – 2010. – Vol. 24 (7). – P. 737–743.

Модифицированная бенз(а)пиреном и вакцинными антигенами экспрессия гена *HLA-DRA* в эксперименте *IN VITRO*

Е.А. Отавина¹, О.В. Долгих^{1,2}

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

Состояние современной окружающей среды характеризуется высоким уровнем вирусной и химической нагрузки, способствующей напряженности адаптационных сил человеческого организма, создающей новые условия для развития патологий органов и систем организма и способной оказывать влияние на тяжесть протекания SARS-CoV-2 инфекции и гриппа, что актуализирует оценку неблагоприятного воздействия вирусных и химических средовых (на примере бенз(а)пирена) компонентов и обуславливает необходимость поиска новых эффективных диагностических маркеров их эффектов, в том числе генетических, способных выявить ранние нарушения в структуре мПНК.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, ген *HLA-DRA*, транскрипт *HLA-DRA* *hs00219575_m1*, антиген SARS-CoV-2, антиген вируса гриппа.

В условиях многофакторного влияния окружающей среды на здоровье человека в настоящее время стоит выделить возросшее влияние вирусных агентов, в особенности SARS-CoV-2 инфекции и гриппа, коснувшихся жизни большого числа людей и продолжающих распространяться и модифицироваться, а также нарастающую химическую нагрузку, источником которой является промышленная деятельность человека, которая, несмотря на современные защитные мероприятия, продолжает оказывать значительное негативное воздействие на организм человека [1, 2]. Широкой распространенностью и спектром токсического действия среди антропогенных загрязнителей окружающей среды характеризуется бенз(а)пирен, что определяет актуальность изучения механизмов его разнообразных негативных эффектов на состояние здоровья [3].

Возросшая вирусная и химическая нагрузка оказывает прямое действие на иммунную систему человека, истощающее ее резервы. Реакция организма на внешне-средовые раздражители, химической и биологической природы, зависит от совокупности факторов, в особенности генетических, способных прогнозировать исходы в развитии заболеваний, позволяющих оценить риски в зависимости от действующих факторов и скорректировать лечение [4].

Таким образом, актуальным научным направлением, определяющим предрасположенность к формированию заболеваний с последующим прогнозированием исходов заболевания, является поиск точечных изменений SNP (SNP – единичная нуклеотидная замена) в последовательности критически важных генов и особенностей

экспрессии их транскриптов, ассоциированных с отклонениями кандидатных показателей системы иммунорегуляции.

Материалы и методы. Проведена оценка уровня экспрессии транскрипта гена главного комплекса гистосовместимости (ГКГС) II класса HLA-DRA hs00219575_m1 в цельной крови условно здоровых людей в возрасте от 25 до 45 лет ($n = 24$) с добавлением в условиях эксперимента *in vitro* бенз(а)пирена, двух компонентов вакцинного антигена SARS-CoV-2, действующих как в комбинированном виде, так и независимо друг от друга, а также вируса гриппа в режиме 72-часовой инкубации и дальнейшим анализом спонтанного и индуцированного состояния методом ПЦР РВ на приборе BioRAD CFX96.

Выделение РНК выполнено при помощи коммерческого набора «РНК-экстран» компании ООО «Синтол» (Москва).

Методом ПЦР произведено определение полиморфизма гена *HLA-DRA C/T* (rs3135388) с использованием праймеров, синтезированных компанией ООО «Синтол» (Москва).

События транскриптома идентифицировались по ответам мРНК апоптотических и контрольных маркеров (транскрипт главного комплекса гистосовместимости II класса HLA-DRA hs00219575_m1, контрольный ген домашнего хозяйства бета-актин ACTB hs99999903_m1) на основании оценки относительной экспрессии – спонтанной и индуцированной химическими гаптенами и вирусными антигенами в различном их сочетании. Синтез олигонуклеотидов и зондов для оценки уровня экспрессии выполнен компанией ООО «ДНК Синтез» (Москва).

Результаты реакции амплификации представлены в таблице в виде $X \pm SD$, где X – среднее, SD – стандартное отклонение.

Спонтанный и стимулированный уровень экспрессии транскрипта HLA-DRA hs00219575_m1, сопряженного с полиморфизмом генотипов гена *HLA-DRA C/T* (rs3135388)

Уровни экспрессии	HLA-DRA C/T			Средний уровень экспрессии по типу нагрузки
	CC	CT	TT	
1	2,05 ± 1,14	0,56 ± 0,40	0,00 ± 0,00	1,53 ± 0,77
2	2,67 ± 1,57	1,01 ± 0,32	0,00 ± 0,00	2,08 ± 1,05
3	0,75 ± 0,32	0,66 ± 0,28	0,00 ± 0,00	0,69 ± 0,23
4	2,21 ± 1,24	1,86 ± 0,77	0,00 ± 0,00	2,02 ± 0,85
5	2,50 ± 0,96	1,52 ± 0,73	0,00 ± 0,00	2,11 ± 0,67
6	1,71 ± 0,79	1,32 ± 0,68	0,00 ± 0,00	1,53 ± 0,56
Средний уровень экспрессии в генотипе	1,98 ± 0,43	1,15 ± 0,22	0,00 ± 0,00	1,66 ± 0,30

Примечание: уровни экспрессии: 1 – спонтанный, 2 – индуцированный бенз(а)пиреном, 3 – индуцированный I компонентом вакцины против SARS-CoV-2, 4 – индуцированный II компонентом вакцины против SARS-CoV-2, 5 – индуцированный сочетанием I и II компонентов вакцины против SARS-CoV-2, 6 – индуцированный вакцинными антигенами гриппа.

Результаты и их обсуждение. Оценка относительного уровня экспрессии молекулы ГКГС II класса HLA-DRA hs00219575_m1 по результатам генетических исследований *in vitro* с моделированием нагрузки химическим и биологическим агентами отражает активационные эффекты бенз(а)пирена, второго компонента вакцины, а также комбинированного действия двух компонентов вакцины SARS-CoV-2 на уровень экспрессии транскрипта.

Моделирование нагрузки бенз(а)пиреном и вакцинными антигенами в эксперименте характеризовалось разнонаправленными изменениями уровня экспрессии транскрипта главного комплекса гистосовместимости HLA-DRA hs00219575_m1, ассоциированного с генотипами *HLA-DRA C/T* (rs3135388) (таблица). Экспозиция бенз(а)пиреном, II компонентом вакцины, а также комбинациями I и II компонентов вакцины против SARS-CoV-2 в условиях генотипов CC и CT приводит к активации экспрессии транскрипта в 1,1–1,3 раза и 1,8–3,3 раза относительно спонтанного уровня. Напротив, использование I компонента вакцины против SARS-CoV-2 и антигена вируса гриппа индуцирует супрессию транскрипции при гомозиготном диком генотипе CC в 2,7 и 1,2 раза соответственно.

Уровень экспрессии при генотипе TT был определен как «без изменений» – 0,0, поскольку оценка производилась для одного человека (редкий генотип), и не наблюдалось достоверных различий в изменении его величины относительно уровня экспрессии гена домашнего хозяйства.

Главный комплекс гистосовместимости человека играет важную роль в иммунной регуляции, распознавая чужеродные и собственные видоизмененные клетки, подвергшиеся воздействию инфекционных агентов или опухолевой трансформации, – он запускает иммунный ответ против носителей чужеродных антигенов [5]. В условиях появления новых штаммов и быстро развивающегося иммунитета, вызываемого белками вирусов, HLA-опосредованный иммунитет при вирусных инфекциях имеет критически важное значение. В литературных данных показана возможность различных исходов COVID-19, ассоциированная с вариантами гена *HLA*, определяющими восприимчивость, патогенез, прогрессирование, тяжесть течения болезни, связанные с ними иммунные реакции против SARS-CoV-2 [6, 7]. Измененное деятельностью человека качество среды обитания и воздействие гаптенов снижает иммунный ответ, чем облегчает проникновение и репликацию вирусов в организме, делая его более уязвимым для серьезных инфекций или развития осложнений [2].

Для белка HLA показано увеличение уровня экспрессии при модификации бенз(а)пиреном и II компонентом вакцины против SARS-CoV-2 и супрессия, обусловленная I компонентом вакцины против SARS-CoV-2. В данном исследовании транскриптомного сценария HLA-DRA hs00219575_m1 не выявлено взаимосвязи интронного варианта полиморфизма гена HLA-DRA rs3135388 с уровнем экспрессии hs00219575_m1 HLA, однако данный полиморфизм некоторые авторы связывают с высоким риском развития аутоиммунной патологии, ассоциированной с изменением субпопуляционных особенностей Т-клеточного компартмента [8].

Заключение. Проведенная оценка полиморфизма гена *HLA-DRA C/T* (rs3135388) и относительного нормализованного уровня экспрессии молекулы ГКГС II класса HLA-DRA hs00219575_m1 в цельной крови в условиях экспериментальной

экспозиции *in vitro* бенз(а)пиреном, вакцинными антигенами SARS-CoV-2 и вируса гриппа установила активацию экспрессии мРНК HLA-DRA hs00219575_m1 в условиях биоэкспозиции бенз(а)пиреном, комбинацией I и II компонентов вакцинных антигенов SARS-CoV-2, а также изолированного действия II компонента. При экспозиции *in vitro* бенз(а)пиреном, а также вакцинными антигенами SARS-CoV-2 активировалась экспрессия транскрипта при носительстве гомозиготного CC и гетерозиготного CT генотипа, и, напротив, антигены вируса гриппа оказывали супрессивное действие на транскрипцию HLA-DRA hs00219575_m1 в условиях гомозиготного дикого варианта генотипа CC, что указывает на потенцирование экспозицией бенз(а)пиреном нарушений, ассоциированных с активацией апоптоза (иммунодефицит) у лиц с аллельным вариантом C гена *HLA-DRA* (rs3135388).

Таким образом, система транскрипта HLA-DRA hs00219575_m1 и полиморфизма гена *HLA-DRA C/T* (rs3135388), ответственных за настройку иммунной системы и инициацию иммунного ответа на воздействие вирусных агентов и гаптоенов, апробированная в экспериментально созданных условиях воздействия вредных химических (бенз(а)пирен) и биологических (SARS-CoV-2 и грипп) факторов, позволяет рекомендовать данные иммуногенетические маркеры в качестве эффективных показателей раннего выявления патологических фенотипов, сопряженных с риском возникновения негативных прогнозов в течении инфекционных заболеваний, для своевременной диагностики и профилактики иммунорегуляторных нарушений.

Список литературы

1. Роль инфекций в патологии человека / В.В. Малеев, В.Г. Акимкин, А.А. Плоскирева, С.В. Углева // Вестник РАМН. – 2023. – Т. 78, № 1. – С. 19–23. DOI: 10.15690/vramn2184
2. К оценке дополнительной заболеваемости населения COVID-19 в условиях загрязнения атмосферного воздуха: методические подходы и некоторые практические результаты / Н.В. Зайцева, И.В. Май, Ж. Рейс, П.С. Спенсер, Д.А. Кирьянов, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 3. – С. 14–28. DOI: 10.21668/health.risk/2021.3.02
3. Bukowska B., Mokra K., Michałowicz J. Benzo[a]pyrene-Environmental Occurrence, Human Exposure, and Mechanisms of Toxicity // Int. J. Mol. Sci. – 2022. – Vol. 23, № 11. – P. 6348. DOI: 10.3390/ijms23116348
4. Полиморфизм генов иммунного ответа и его роль в противоинфекционной защите / Р.М. Хаитов, Л.П. Алексеев, М.Н. Болдырева, Л.В. Сароянц // Иммунология. – 2013. – № 3 (34). – С. 132–144.
5. Роль генов системы HLA: от аутоиммунных заболеваний до COVID-19 / Е.А. Трошина, М.Ю. Юкина, Н.Ф. Нуралиева, Н.Г. Мокрышева // Проблемы эндокринологии. – 2020. – Т. 66, № 4. – С. 9–15. DOI: 10.14341/probl12470
6. Augusto D.G., Hollenbach J.A. HLA variation and antigen presentation in COVID-19 and SARS-CoV-2 infection // Curr. Opin. Immunol. – 2022. – Vol. 76. – P. 102178. DOI: 10.1016/j.coi.2022.102178

7. Association between HLA genotypes and COVID-19 susceptibility, severity and progression: a comprehensive review of the literature / F. Migliorini, E. Torsiello, F. Spiezia [et al.] // Eur. J. Med. Res. – 2021. – Vol. 26, № 1. – P. 84. DOI: 10.1186/s40001-021-00563-1

8. Вклад генов главного комплекса гистосовместимости класса II в предрасположенность к аутоиммунным заболеваниям / М.Ю. Захарова, Т.А. Белянина, А.В. Соколов, И.С. Киселев, А.Э. Мамедов // Acta Naturae (русскоязычная версия). – 2019. – Т. 11, № 4 (43). – С. 4–12. DOI: 10.32607/20758251-2019-11-4-4-12

Прогноз вероятных негативных эффектов при комбинированном воздействии химических веществ на основе протеомно-биоинформационного анализа

Е.В. Пескова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Исследование механизмов внешнесредового воздействия химических веществ на организм человека с помощью протеомного профилирования и биоинформационного анализа позволяет прогнозировать развитие негативных эффектов на самой ранней стадии их формирования. С целью прогнозирования вероятных негативных эффектов при комбинированном воздействии химических веществ на основе протеомно-биоинформационного анализа (на примере оксидов меди и хрома) проведено исследование с помощью методов химико-аналитического, статистического, протеомного и биоинформационного анализа. Установлена трансформация протеомного профиля плазмы крови в натуральных и экспериментальных условиях при экспозиции оксидами меди и хрома. Сопоставительный анализ полученных данных показал, что выявлены изменения экспрессии линкерного белка 4, содержащего домен CAP-Gly; белка область С каппа-цепи Ig, аллель А и сидерофлексины-3. На основе проведенного биоинформационного анализа прогнозируются негативные эффекты, связанные с развитием когнитивных нарушений и диффузными изменениями печени.

Ключевые слова: протеомный профиль, детское население, биологическая модель, комбинированная экспозиция, биоинформационный анализ, прогноз негативных эффектов.

Современные научные исследования в области повышения точности прогнозирования и профилактики нарушений здоровья человека направлены на изучение воздействия факторов окружающей среды, в первую очередь, химического. Для этого широко применяются постгеномные подходы, включая протеомные исследования с

использованием методов биоинформатики [1]. Это позволяет глубже изучить реакции организма на существующие условия среды обитания и своевременно прогнозировать возможные негативные последствия на начальных этапах их формирования до развития признаков и симптомов повреждения на клеточном, тканевом или органном уровнях [2, 3].

Так как человек подвергается воздействию множества факторов одновременно, для более точной оценки влияния химических веществ целесообразно проведение контролируемых экспериментальных исследований, которые позволяют минимизировать влияние других компонентов и смоделировать оптимальные условия [4]. Выявленные молекулярные изменения модельных организмов в дальнейшем могут экстраполироваться на человека благодаря высокой степени генетической схожести [5].

Среди загрязняющих веществ значительное внимание уделяется оксидным соединениям, в том числе хрома (1 класс опасности) и меди (2 класс). В организме данные вещества являются эссенциальными элементами, однако при высоких концентрациях они могут проявлять токсические свойства. Их сочетанное воздействие приводит к образованию свободных радикалов (особенно активных форм кислорода), что оказывает неблагоприятное влияние на организм [6–8]. Ионы данных металлов способны напрямую повреждать клеточные структуры, включая липиды, белки и ДНК, тем самым иницируя развитие окислительного стресса [9, 10]. В этой связи актуальным направлением исследований является установление экспрессируемых белков и пептидов в трансформированном протеомном профиле плазмы крови и последующий биоинформационный анализ для прогноза развития негативных эффектов при воздействии химических стрессоров.

Цель работы – прогноз вероятных негативных эффектов при комбинированном воздействии химических веществ на основе протеомно-биоинформационного анализа (на примере оксидов меди и хрома).

Материалы и методы. На основе реализации алгоритма построения структурных биоинформационных матриц для распознавания последовательности молекулярных и клеточных событий и негативных эффектов, инициированных трансформацией белково-пептидного профиля плазмы крови человека при воздействии химических контаминантов, выполнен прогноз неблагоприятных исходов, метаболический путь которых связан с изменением экспрессии белков и кодирующих их генов [11].

В настоящем исследовании построение биоинформационной матрицы проведено на примере распознавания последовательности молекулярно-клеточных событий у детей, подвергающихся аэрогенному комбинированному действию оксидов меди и хрома (натурные исследования). В качестве биологической модели выбраны крысы линии Wistar, подверженные комбинированной и изолированной ингаляционной экспозиции изучаемыми химическими веществами в дозах, эквивалентных реальным условиям (экспериментальные исследования).

Для проведения исследований в реальных условиях выбраны 50 детей в возрасте 4–7 лет, как наиболее чувствительный контингент населения [12], в том числе 30 человек, подвергающихся длительной аэрогенной комбинированной экспозиции CuO и Cr₂O₃ (группа наблюдения) и 20 человек, не подвергающихся воздействию

изучаемых химических веществ (группа сравнения). Критерием формирования выборок детей группы наблюдения является повышенное содержание хрома и меди в крови относительно их референтных уровней (хром $RfL = 0,001 \text{ мг/дм}^3$; медь $RfL = 0,9 \text{ мг/дм}^3$), группы сравнения – содержание контаминантов на уровне референтных значений [13].

Экспериментальных животных в количестве 80 особей разделили на 4 группы по 20 в каждой: две опытные группы №№ 1–2, подвергающиеся изолированной экспозиции CuO и Cr_2O_3 ; одна опытная группа № 3 – комбинированной экспозиции CuO и Cr_2O_3 ; контрольная группа – особи, не подверженные воздействию изучаемыми химическими веществами. Ингаляционное поступление веществ моделировали с помощью испытательной камеры для мелких грызунов (TSE Systems GmbH, Германия). Экспозицию проводили в течение 90 дней по 6 часов 5 дней в неделю (согласно ГОСТ 32636-2020). Экспериментальные дозы химических веществ соответствовали дозам, установленным при реальной хронической аэрогенной экспозиции [14].

Статистическая обработка данных проведена с использованием программы Statistica 10. Для описания использовано среднее арифметическое исследуемого показателя (M) и стандартное отклонение (SD). U -критерий ($p \leq 0,05$) применен для определения статистической значимости различий при межгрупповом сравнении. Линейный регрессионный анализ использован для построения моделей зависимости. Оценка достоверности и адекватности модели проведена с применением F -критерия Фишера ($F > 3,96$), коэффициента детерминации (R^2) и t -критерия Стьюдента ($p \leq 0,05$) [15].

Химико-аналитическое исследование крови на содержание меди и хрома выполнено в соответствии с МУК 4.1.3230-14 на масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies, США). Установленную концентрацию веществ в крови оценивали относительно показателей группы сравнения (контроля).

Протеомное исследование включало получение пептидных образцов плазмы крови обследованных детей и экспериментальных животных. Проведен двумерный гель-электрофорез белков в сочетании с окраской серебром. Интенсивность белковых пятен определяли с помощью гель-документирующей системы. Полученные протеомные карты сравнивали между группами. Белковые пятна, имеющие достоверные различия, вырезались и анализировались с помощью методов ВЭЖХ и МС-МС. Полученные спектры обрабатывали с помощью программы ProteinPilot и идентифицировали по базе данных UniProt, с выборкой по таксону Homo Sapiens (Human) и Rattus norvegicus (Rat). Прогноз вероятных негативных эффектов выполнен с помощью общедоступных биоинформационных ресурсов: UniProt (<http://www.uniprot.org>), The Gene Ontology (<http://geneontology.org/>), GeneCards (<https://www.genecards.org/>), Rat Genome Database (<https://rgd.mcw.edu/rgdweb/homepage/>), Tissue expression database (<https://tissues.jensenlab.org/Search>), Comparative Toxicogenomics Database (<http://ctdbase.org/>), DisGeNET (<https://www.disgenet.org/dbinfo>).

Результаты. По результатам натурных исследований установлено, что у детей группы наблюдения, подвергающихся длительной аэрогенной экспозиции одновременно CuO ($0,0035 \text{ мг/(кг*день)}$) и Cr_2O_3 ($0,00002 \text{ мг/(кг*день)}$) в крови зарегистри-

рованы повышенные концентрации соответствующих контаминантов относительно группы сравнения (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Содержание химических веществ в крови обследуемых детей
и экспериментальных животных

Исследуемая группа	Концентрация химического вещества в крови, мг/дм ³	
	Медь	Хром
Натурные исследования		
Группа наблюдения	1,120 ± 0,065*	0,018 ± 0,003*
Группа сравнения	0,896 ± 0,096	0,004 ± 0,001
Экспериментальные исследования		
Опытная группа № 1 (изолированная экспозиция CuO)	2,323 ± 0,155*	–
Опытная группа № 2 (изолированная экспозиция Cr ₂ O ₃)	–	0,100 ± 0,036*
Опытная группа № 3 (комбинированная экспозиция CuO и Cr ₂ O ₃)	2,311 ± 0,106*	0,111 ± 0,019*
Контрольная группа	1,553 ± 0,170	0,020 ± 0,004

П р и м е ч а н и е: * – статистическая значимость различий между группами наблюдения (опыта) и сравнения (контроля) ($p \leq 0,05$).

Установлены зависимости «увеличение концентрации химического вещества в крови при повышении его уровня в атмосферном воздухе» у детей: для меди в крови и оксида меди в атмосферном воздухе ($R^2 = 0,75$; $a_0 = 0,9735$; $a_1 = 74,141$; $p = 0,0001$), для хрома в крови и оксида хрома в атмосферном воздухе ($R^2 = 0,66$; $b_0 = 0,00196$; $b_1 = 5,358$; $p = 0,0001$).

Экспериментальные дозы изучаемых химических веществ соответствовали реальным условиям (CuO – 0,015 мг/(кг*день), Cr₂O₃ – 0,00008 мг/(кг*день)). Установлено, что концентрация меди в крови крыс при изолированной и комбинированной экспозиции превысила уровень контроля до 1,5 раза. Содержание хрома в крови при изолированной экспозиции в 5,0 раза выше показателя контроля, при комбинированной – в 7,2 раза.

По результатам сравнительного анализа 40 из 47 белковых пятен в плазме крови детей группы наблюдения и сравнения имели достоверные различия ($p = 0,000–0,022$). Масс-спектрометрическая идентификация этих пятен показала, что обнаруженные аминокислотные последовательности совпадают с 34 белками, достоверно различающимися в 1,1–8,0 раза в сторону увеличения интенсивности ($p = 0,000–0,003$) и в 1,1–12,4 раза в сторону снижения ($p = 0,000–0,022$).

У крыс опытной группы № 1 относительно контроля установлено достоверное увеличение в 1,2–11,3 раза интенсивности 15 белковых пятен, а также снижение в

1,1–17,9 раза интенсивности 11 белковых пятен ($p = 0,000–0,012$). У крыс опытной группы № 2 обнаружено увеличение интенсивности в 1,1–28,3 раза 23 белковых пятен ($p = 0,000–0,004$) и уменьшение в 1,3–1,4 раза интенсивности 2 белковых пятен ($p = 0,0001$) относительно контроля. У крыс опытной группы № 3 относительно контроля установлено увеличение интенсивности в 1,1–18,0 раза 14 белковых пятен ($p = 0,000–0,027$), уменьшение в 1,2–14,6 раза интенсивности 10 белковых пятен ($p = 0,000–0,015$).

Сравнительный анализ полученных результатов масс-спектрометрической идентификации белков позволил установить 3 белка, одновременно встречающиеся как в экспериментальных, так и в натурных исследованиях (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Среднее значение экспрессии белков (по критерию интенсивности белкового пятна), одновременно встречающихся в экспериментальных и натурных условиях

Исследуемая группа	Среднее значение экспрессии белка (по критерию интенсивности белкового пятна)		
	Линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly	Область С каппа-цепи Ig, аллель А	Сидерофлексин-3
Натурные исследования			
Группа наблюдения	1750 ± 74	805 ± 68	3220 ± 219*
Группа сравнения	249 ± 71	1776 ± 133	3189 ± 192
Экспериментальные исследования			
Опытная группа 1 (изолированная экспозиция CuO)	779 ± 53	1300 ± 408	2863 ± 102
Опытная группа 2 (изолированная экспозиция Cr ₂ O ₃)	3656 ± 178	–	–
Опытная группа 3 (комбинированная экспозиция CuO и Cr ₂ O ₃)	2747 ± 60	3317 ± 231	788 ± 94
Контрольная группа	153 ± 15	4169 ± 171	164 ± 46

П р и м е ч а н и е: * – статистическая значимость различий между группами не установлена ($p \geq 0,05$).

Характеристики выявленных белков и кодирующих их генов, полученные из общепризнанных баз данных, с описанием их участия в биологических процессах, экспрессии в тканях и прогноз негативных эффектов представлены в таблице 3.

В результате сопоставительного анализа белков, установленных на биологической модели, с достоверно отличающимися белками у детей выявлен линкер-

ный белок 4, содержащий домен CAP-Gly (ген человека *CLIP4*, ген крысы *Clip4*). Данный белок является членом семейства CLIP-170, которое соединяет клеточные органеллы с микротрубочками через связанный с цитоскелетом домен, богатый белком-глицином (CAP-Gly). Он участвует в установлении клеточной полярности, миграции клеток, внутриклеточной сигнализации и опухолеобразовании [16]. Предполагается, что изменение экспрессии данного белка ассоциировано с ухудшением когнитивных функций, развитием нефропатии и нарушениями в слизистой оболочке желудка.

Таблица 3

Характеристика выявленных белков и кодирующих их генов

Характеристики	Линкерный белок 4, содержащий домен CAP-Gly	Область С каппа-цепи Ig, аллель А	Сидерофлексин-3
Ген человека	ген <i>CLIP4</i>	ген <i>IGKC</i>	ген <i>SFXN3</i>
Ген крысы	ген <i>Clip4</i>	ген <i>Igkc</i>	ген <i>Sfxn3</i>
Участие в ключевых биологических процессах	организация цитоплазматических микротрубочек	участие в процессах иммунной системы	- транспорт аминокислот; - участие в цикле одноуглеродного метаболизма
Экспрессия в тканях	- легкие; - головной мозг	—	головной мозг
Негативные эффекты	- когнитивные нарушения; - нефропатия; - гастрит	- иммунная недостаточность; - миозит; - гепатомегалия	- гепатомегалия - когнитивные нарушения; - гипертония

Обнаружен белок область С каппа-цепи Ig, аллель А, экспрессия которого снижается в 3,2 раза при экспериментальной изолированной экспозиции CuO и в 1,2 раза при комбинированной экспозиции CuO и Cr₂O₃ (ген *Igkc*). Ортологичный белок (ген *IGKC*) обнаружен в протеомном профиле детей, где его экспрессия снижается в 2,2 раза. Предполагается, что данный белок является частью комплекса иммуноглобулина G [17]. Показано, что данный белок ассоциирован с развитием иммунной недостаточности, миозита и гепатомегалии.

Обнаружен белок сидерофлексин-3 в протеомном профиле детей (ген *SFXN3*) и экспериментальных животных при изолированной экспозиции CuO и комбинированной CuO и Cr₂O₃ (ген *Sfxn3*). Установлено, что синтез данного белка повышается в эксперименте, тогда как в натуральных условиях значимых различий не установлено. Сидерофлексин-3 принадлежит к семейству митохондриальных трансмембранных белков. Недавнее исследование показало, что данный белок также может функционировать как переносчик серина [18]. Предполагается связь между сидерофлексин-3

и развитием нейродегенеративных нарушений, поскольку обнаружено, что уровни мРНК *SFXN3* изменяются в экспериментальных моделях и у пациентов с болезнью Паркинсона [19].

Заключение. Прогноз вероятных негативных эффектов, инициированных трансформацией протеомного профиля плазмы крови при комбинированном воздействии химических веществ, базировался на сопоставлении данных натуральных и экспериментальных исследований с применением протеомно-биоинформационного анализа. Установлено, что при аэрогенной комбинированной экспозиции оксидами меди и хрома в реальных и экспериментальных условиях изменяется экспрессия трех белков – линкерного белка 4, содержащего домен CAP-Gly (ген человека *CLIP4*, ген крысы *Clip4*), белка область С каппа-цепи Ig, аллель А (ген *IGKC*, ген *Igkc*) и сидерофлексины-3 (ген *SFXN3*, ген *Sfxn3*). Проведенный биоинформационный анализ позволил спрогнозировать негативные эффекты, связанные с развитием когнитивных нарушений и диффузными изменениями печени.

Список литературы

1. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Долгих О.В. Геномные, транскриптомные и протеомные технологии как современный инструмент диагностики нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 1. – С. 6–12. DOI: 10.47470/0016-9900-2020-99-1-6-12
2. Anderson N.L., Anderson N.G. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects // Molecular and Cellular Proteomics. – 2002. – Vol. 1, № 11. – P. 845–867. DOI: 10.1074/mcp.r200007-mcp200
3. Statistical analysis of variation in the human plasma proteome / T.H. Corzett, I.K. Fodor, M.W. Choi [et al.] // J Biomed Biotechnol. – 2010. – Vol. 2010. – P. 258494. DOI: 10.1155/2010/258494
4. Соседова Л.М., Филиппова Т.М. Роль биомоделирования в системе химической безопасности человека // Экология человека. – 2017. – Т. 24, № 7. – С. 46–52. DOI: 10.33396/1728-0869-2017-7-46-52
5. Землянова М.А., Пескова Е.В., Степанков М.С. Протеомное профилирование плазмы крови при хронической экспериментальной экспозиции оксидом алюминия как инструмент прогноза негативных эффектов со стороны критических органов и систем человека // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 10. – С. 1125–1131. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-10-1125-1131
6. Trace amounts of Cu²⁺ ions influence ROS production and cytotoxicity of ZnO quantum dots / H. Moussa, C. Merlin, C. Dezanet [et al.] // J Hazard Mater. – 2016. – Vol. 304. – P. 532–542. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.11.013
7. Acute copper overload induces vascular dysfunction in aortic rings due to endothelial oxidative stress and increased nitric oxide production / K.Z. Nunes, M. Fiorese, V.B. Marques, D.V. Vassallo // J Toxicol Environ Health A. – 2018. – Vol. 81, № 8. – P. 218–228. DOI: 10.1080/15287394.2018.1437490
8. Ecotoxicological and Interactive Effects of Copper and Chromium on Physiochemical, Ultrastructural, and Molecular Profiling in *Brassica napus* L / L. Li, K. Zhang, R.A. Gill [et al.] // Biomed Res Int. – 2018. – P. 9248123. DOI: 10.1155/2018/9248123

9. Copper induces--and copper chelation by tetrathiomolybdate inhibits--endothelial activation in vitro / H. Wei, W.J. Zhang, R. Leboeuf, B. Frei // *Redox Rep.* – 2014. – Vol. 19, № 1. – P. 40–48. DOI: 10.1179/1351000213Y.0000000070
10. Salnikow K., Zhitkovich A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium // *Chem Res Toxicol.* – 2008. – Vol. 21, № 1. – P. 28–44. DOI: 10.1021/tx700198a
11. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Пескова Е.В. Прогноз вероятных негативных эффектов, инициированных трансформацией протеомного профиля плазмы крови человека при комбинированном воздействии химических веществ // *Гигиена и санитария.* – 2024. – Т. 103, № 5. – С. 407–415. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-5-407-415
12. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Землянова М.А. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов. – Пермь: Книжный формат, 2011. – 532 с.
13. Тиц Н.У. Клиническое руководство по лабораторным тестам. – М.: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.
14. Выбор дозы препарата для доклинического исследования: межвидовой перенос доз / Е.В. Шекунова, М.А. Ковалева, М.Н. Макарова, В.Г. Макаров // *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения.* – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 19–28. DOI: 10.30895/1991-2919-2020-10-1-19-28
15. Гланц С. Медико-биологическая статистика / под ред. Н.Е. Бузикашвили и соавт. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
16. CLIP4 Shows Putative Tumor Suppressor Characteristics in Breast Cancer: An Integrated Analysis / Y. Fan, L. He, Y. Wang [et al.] // *Front Mol Biosci.* – 2021. – Vol. 7. – P. 616190. DOI: 10.3389/fmolb.2020.616190
17. Schroeder H.W. Jr, Cavacini L. Structure and function of immunoglobulins // *J Allergy Clin Immunol.* – 2010. – Vol. 125. – P. S41–S52. DOI: 10.1016/j.jaci.2009.09.046
18. SFXN1 is a mitochondrial serine transporter required for one-carbon metabolism / N. Kory, G.A. Wyant, G. Prakash [et al.] // *Science.* – 2018. – Vol. 362, № 6416. – P. eaat9528. DOI: 10.1126/science.aat9528
19. The mitochondrial protein Sideroflexin 3 (SFXN3) influences neurodegeneration pathways in vivo / L.M. Ledahawsky, M.E. Terzenidou, R. Edwards [et al.] // *FEBS J.* – 2022. – Vol. 289, № 13. – P. 3894–3914. DOI: 10.1111/febs.16377

Скрининговые исследования острой токсичности и противовоспалительной активности 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов

О.О. Сенокосова¹, Д.Г. Дианова^{1,2}, В.Л. Гейн¹, И.П. Рудакова¹

¹ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия»,

²ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

В работе представлены результаты фармакологического скрининга 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов. Установлено, что все соединения (I–VIII) являются малотоксичными и демонстрируют противовоспалительное действие. Оценка противовоспалительной активности на модели каррагенинового воспаления новых замещённых тетрагидропиррол-2,3-дионов выявила, что соединения II, III, V, VI и VIII статистически значимо уменьшают выраженность воспаления относительно контрольных значений. Обнаружено, что противовоспалительный эффект соединения IV статистически значимо выше препарата сравнения (Нимесулид).

Ключевые слова: 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-оны, фармакологический скрининг, острая токсичность, противовоспалительная активность.

Ряд тетрагидропиррол-2,3-дионов и их производные являются практически значимыми веществами с широким спектром применения в медицине. Синтез биологически активных веществ на основе замещённых тетрагидропиррол-2,3-дионов – одно из перспективных направлений использования этого класса соединений в медицинской химии [1, 2]. В современной медицине успешно используются производные пирролидина для лечения заболеваний инфекционной и неинфекционной этиологии. В зависимости от характера заместителей в кольце 3-пирролин-2-она соединения обладают различной биологической активностью: противоопухолевой [3], антибактериальной [4, 5], противогрибковой [6], противовирусной [7] и др. Среди пирролидин-2,5-дионов обнаружены вещества, имеющие анальгетический эффект [8], противовоспалительную активность [9].

Воспаление является одним из важнейших биологических процессов и выполняет защитную функцию от негативных эндогенных и экзогенных стимулов (различные патогенные микроорганизмы, химические агенты, повреждённые клетки и др.). Острое воспаление имеет решающее значение для устранения негативного воздействия агента и максимального восстановления повреждённых тканей. Между тем хроническое воспаление способствует развитию различных патологических процессов, например, злокачественная опухоль, заболевания сердечно-сосудистой системы, сахарный диабет 2 типа, хроническая обструктивная болезнь лёгких, аутоиммунные состояния. Инициатором воспалительного ответа являются медиаторы воспаления,

образующиеся в процессе самого воспаления и обеспечивающие межклеточную коммуникацию: продукты циклооксигеназного пути, лейкотриены, белки острой фазы, катионные белки, цитокины, серотонин, гистамин, липидные медиаторы воспаления, фибронектины, ферменты, оксид азота, ферменты и др. В клинической практике для подавления воспалительного процесса в организме широко используются нестероидные противовоспалительные средства (НПВС).

Очевидно, ряд новых замещённых тетрагидропиррол-2,3-дионов обладает достаточно широким спектром использования в медицинской химии, что определяет значительный интерес к синтезу новых производных 3-пирролин-2-онов и выявлению у вновь синтезированных соединений фармакологической активности.

Цель работы – проведение фармакологического скрининга острой токсичности и противовоспалительной активности 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов.

Материалы и методы.

Экспериментальная химическая часть. Ранее путём трехкомпонентной реакции метилового эфира ароилпировиноградной кислоты со смесью ароматического альдегида и изобутиламина в диоксане при комнатной температуре были получены новые 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-оны (I–VIII) [10].

Структура и чистота исследуемых соединений доказана на основании данных ИК-спектроскопии и ЯМР ^1H - и ЯМР ^{13}C -спектроскопии и элементного анализа [10].

Экспериментальная биологическая часть. Острую токсичность (I–VIII) изучали, используя экспресс-метод В.Б. Прозоровского [11].

В системе *in vivo* определяли противовоспалительную активность ряда новых замещённых тетрагидропиррол-2,3-дионов. Эксперименты проведены на белых беспородных крысах обоих полов массой 180–250 г ($n = 40$). Лабораторные животные находились на стандартном рационе вивария и имели свободный доступ к воде. Содержание животных соответствовало правилам лабораторной практики (GLP) Приказ МЗРФ № 199н от 01.04.2016 г. Проект исследования и формы соглашений обследуемых одобрены Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Минздрава России (протокол № 8 от 25.03.2024).

Острую противовоспалительную реакцию воспроизводили путём субплантарного введения в заднюю левую лапу крысы 0,1 мл 1%-го водного раствора каррагинина (Zhejiang Top Ingredients Co., Ltd, Китай). Исследуемые вещества вводили в 2%-ном крахмальном растворе перорально (внутрижелудочно) в дозе 50 мг/кг за 60 мин до введения флогогенного агента. В качестве референтного препарата использован Нимесулид (АО «Усолье-Сибирский химфармзавод», Россия) в дозе 50 мг/кг, введенный перорально. Животным группы контроля аналогичным способом вводили равный объём 2%-ного крахмального раствора. Величину отёка определяли онкометрическим методом (плетизмометр «Ugo Basile», Италия) через 3 часа после индукции воспаления по изменению объёма левой лапы животного [12]. Критерием оценки противовоспалительного действия вновь синтезированных соединений и нестероидного противовоспалительного препарата (референтного препарата) являлся прирост объёма конечности и торможение воспалительного процесса.

Нимесулид является нестероидным противовоспалительным препаратом с доминирующим влиянием на провоспалительную изоформу циклооксигеназы-2 (до 88 %), при этом ингибирующий эффект на фермент сохраняется более 24 часов [13]. Препарат имеет быстрое и достаточно продолжительное противовоспалительное действие. Установлено, что циклооксигеназа-2 (ЦОГ-2) вовлечена в канцерогенез, а воспаление играет ключевую роль в развитии опухолевого процесса и формировании атеросклеротических бляшек. Нимесулид также обладает ЦОГ-независимыми эффектами: угнетение иммунной и неиммунной секреции гистамина, снижение активности макрофагов, уменьшение образования лейкотриенов, ингибирование секреции провоспалительных медиаторов межклеточного взаимодействия TNF- α , IL-6, IL-8, сдерживание генерации активных форм кислорода. Активированный макрофаг – это ключевой участник воспалительной реакции, продуцирующий широкий спектр провоспалительных продуктов, в том числе TNF- α . Следует отметить, что у других представителей НПВС, в частности ацетилсалициловой кислоты, диклофенака, пироксикама, указанные эффекты не идентифицированы [14]. По ulcerогенному действию относительно неселективных НПВС Нимесулид относится к наиболее безопасным лекарственным средствам. Очевидно, вышесказанное обосновывает использование НПВС (Нимесулид) для изучения противовоспалительной активности.

Процедуры статистического анализа данных осуществляли с использованием пакета *STATISTICA 6.0* (StatSoft, USA). Для проверки статистических гипотез о виде распределения был применен критерий Шапиро–Уилка. Результаты представлены в виде $(M \pm m)$, где M – среднее арифметическое значение, m – стандартная ошибка средней арифметической. Для проверки нулевых гипотез о равенстве средних значений между двумя независимыми группами применялся **t-критерий Стьюдента**. Уровень значимости, на котором проводилась проверка нулевых гипотез, принимался равным 0,05.

Результаты. Установлено, что единственным продуктом выполненной реакции являются соответствующие 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-оны.

При оценке острой токсичности установлено, что все вещества (I–VIII) являются низкотоксичными – $LD_{50} > 2000$ мг/кг. Согласно ГОСТ 32419-2022 «Межгосударственный стандарт. Классификация опасности химической продукции. Общие требования» замещённые тетрагидропиррол-2,3-дионы относятся к 5 классу соединений, то есть являются практически нетоксичными.

Фармакологическими исследованиями (на модели каррагенинового воспаления) установлено, что соединения II, III, V, VI и VIII статистически значимо уменьшают выраженность воспаления относительно контрольных значений. В тесте каррагинантный отек задней лапы крысы выявлено наиболее активное соединение IV, противовоспалительное действие которого статистически значимо превосходит эффективность препарата сравнения (таблица).

Результаты изучения противовоспалительной активности соединений ряда
5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов (I–VIII)

№ п/п	Вещество	Прирост объема стопы через 3 часа, %	Торможение реакции через 3 часа, %	<i>p</i> по сравнению с контролем
1.	I	69,1 ± 9,23	9,8	> 0,05
2.	II	36,04 ± 3,33	52,9	< 0,001
3.	III	50,5 ± 8,01	34,09	< 0,05
4.	IV	12,86 ± 2,93*	83,21	< 0,05
5.	V	34,69 ± 5,28	54,72	< 0,05
6.	VI	47,54 ± 5,26	37,95	< 0,01
7.	VII	56,13 ± 3,52	26,74	> 0,05
8.	VIII	41,95 ± 6,81	45,24	< 0,01
9.	Нимесулид	39,23 ± 2,85	55,76	< 0,01
10.	Контроль	76,62 ± 7,15	–	–

П р и м е ч а н и е: * – $p < 0,05$ относительно препарата сравнения (Нимесулид) по средним величинам.

Вывод. По результатам проведённых исследований можно предполагать, что 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-оны (I–VIII) являются малотоксичными и обладают противовоспалительной активностью, что обуславливает предпосылки для дальнейшего изучения реализации механизма, ингибирующего процесс воспаления, и исследования других фармакологических эффектов.

Список литературы

1. Марьясов М.А., Гейн В.Л. Тетрагидропиррол-2,3-дионы. – Пермь: М-во здравоохранения и социального развития Российской Федерации, Пермская гос. фармацевтическая акад., 2013. – 155 с.
2. Особенности биологической активности вновь синтезируемых гетероциклических ароматических органических соединений на примере пирролов / Д.Г. Дианова, В.Л. Гейн, О.О. Сенокосова, О.В. Долгих // Анализ риска здоровью – 2023: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. / под ред. проф. А.Ю. Поповой, акад. РАН Н.В. Зайцевой. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023. – Т. 2. – С. 25–27.
3. FDA-Approved Small Molecules in 2022: Clinical Uses and Their Synthesis / T.D. Benedetto, L. Bagnoli, O. Rosati, F. Marini, C. Santi, L. Sancineto // Pharmaceutics. – 2022. – Vol. 14 (11). – P. 2538. DOI: 10.3390/pharmaceutics14112538

4. Synthesis, antimycobacterial and antibacterial activity of 1-[(1R,2S)-2-fluorocyclopropyl]naphthyridone derivatives containing an oxime-functionalized pyrrolidine moiety / J. Huang, H. Liu, M. Liu, R. Zhang, L. Li, B. Wang // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* – 2015. – Vol. 25 (22). – P. 5058–5063. DOI: 10.1016/j.bmcl.2015.10.027
5. Pyrrolidine-2,3-diones: heterocyclic scaffolds that inhibit and eradicate *S. aureus* biofilms / M.A. Valdes-Pena, A. Ratchford, M. Nie, L.V. Schnabel, J.G. Pierce // *Chem Commun (Camb)*. – 2024. – Vol. 23. DOI: 10.1039/d4cc02708f
6. Synthesis of tetrazole derivatives bearing pyrrolidine scaffold and evaluation of their antifungal activity against *Candida albicans* / E. Łukowska-Chojnacka, A. Kowalkowska, M. Gizińska, M. Koronkiewicz, M. Staniszevska // *Eur. J. Med. Chem.* – 2019. – Vol. 164. – P. 106–120. DOI: 10.1016/j.ejmech.2018.12.044
7. Ugi and passerini reactions of biocatalytically derived chiral aldehydes: Application to the synthesis of bicyclic pyrrolidines and of antiviral agent telaprevir / L. Moni, L. Banfi, A. Basso, L. Carcone, M. Rasparini, R. Riva // *J. Org. Chem.* – 2015 – Vol. 80 (7). – P. 3411–3428. DOI: 10.1021/jo502829j
8. Tilekar K., Upadhyay N., Meyer-Almes F. Synthesis and biological evaluation of pyrazoline and pyrrolidine-2,5-dione hybrids as potential antitumor agents // *Chem. Med. Chem.* – 2020. – № 15. – P. 1823.
9. Design, synthesis, in-vitro, in-vivo and in-silico studies of pyrrolidine-2, 5-dione derivatives as multitarget anti-inflammatory agents / M.S. Jan, S. Ahmad, F. Hussain, A. Ahmad, F. Mahmood, U. Rashid // *Eur. J. Med. Chem.* – 2020. – Vol. 186. – P. 111863. DOI: 10.1016/j.ejmech.2019.111863
10. Трехкомпонентный синтез 5-арил(гетарил)-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов / В.Л. Гейн, Д.Г. Дианова, О.О. Сенокосова, Н.В. Носова, Е.А. Булдакова, И.Г. Мокрушин // *Журнал общей химии*. – 2024. – Т. 94, № 3. – С. 342–349.
11. Экспресс-метод определения средней эффективной дозы и ее ошибки / В.Б. Прозоровский, М.П. Прозоровская, В.М. Демченко // *Фармакология и токсикология*. – 1978. – Т. 41, № 4. – С. 497–502.
12. Миронов А.Н. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. – М.: Гриф и К, 2012. – 944 с.
13. Dallegri F., Ottonello L. Are there any differences among non-steroidal anti-inflammatory drugs? Focus on Nime-sulide // *Clin. Drug. Invest.* – 2007. – Vol. 27(1). – P. 15–22.
14. Пахомова И.Г., Кнорринг Г.Ю. / Применение нестероидных противовоспалительных препаратов при сердечно-сосудистых заболеваниях: проблемы и решения // *Доктор.Ру*. – 2021. – Т. 20(11). – С. 28–33. DOI: 10.31550/1727-2378-2021-20-11-28-3

Полиморфизм *Ile105Val* гена *GSTP1*, ассоциированный с развитием аллергических заболеваний у детей, в условиях биоэкспозиции ароматическими углеводородами (на примере бензола)

К.Г. Старкова¹, О.В. Долгих^{1,2}, Т.А. Легостаева¹,
О.А. Казакова¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,

²ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
г. Пермь, Россия

У детей в группе с аллергопатологией на фоне возрастания концентрации бензола в крови показано повышение эозинофильно-лимфоцитарного индекса в 1,7 раза, концентрации IgE общего – в 5,6 раза, дисбаланс сыровоточного уровня цитокинов IL-10 – в 1,3 раза, IL-4 – в 2,0 раза относительно группы сравнения ($p = 0,000–0,019$). Выявлено повышение частоты гомозиготного генотипа AA полиморфного варианта *Ile105Val* гена *GSTP1* ($p = 0,011$) в группе наблюдения, который выступает маркером чувствительности ($OR = 4,17$; 95 % CI = 1,45–11,97), ассоциированным с достоверным повышением IgE общего в 4,6 раза, эозинофилов крови – в 2,0 раза относительно других вариантов генотипов ($p = 0,027–0,034$), и может рассматриваться в качестве перспективного индикатора аллергических процессов, формируя риск развития атопии, ассоциированной с биоэкспозицией бензолом ($RR = 2,27$).

Ключевые слова: бензол, аллергические заболевания, *GSTP1 Ile105Val*, маркеры гиперчувствительности, иммуноглобулин E, эозинофилы.

Распространенность аллергических заболеваний, включая астму, атопический дерматит, аллергический ринит, аллергический конъюнктивит, хронический риносинусит с аллергокомпонентом и пищевую аллергию, составляет более 40 % населения в промышленно развитых странах и постоянно увеличивается в развивающихся странах, снижая качество жизни людей [1]. Значительный рост числа случаев аллергии объясняется такими факторами, как загрязнение окружающей среды, изменение климата, сокращение биоразнообразия, урбанизация, изменение образа жизни и пищевых привычек. Прецизионная медицина, индивидуальный подход к лечению и изменение образа жизни помогут снизить социальную напряженность, вызванную аллергическими заболеваниями. Существует вариабельность чувствительности населения к неблагоприятному влиянию химических веществ, связанная с уровнем и продолжительностью воздействия, сопутствующими заболеваниями, периодом жизни, а также генетической предрасположенностью к повышенной чувствительности, сопряженной с воздействием ксенобиотиков [2, 3].

Способность к метаболизму ксенобиотиков определяется уровнем активности ферментных систем биотрансформации, который зависит от пола, возраста и генетических особенностей организма. Глутатион-S-трансферазы (GST) относятся к мультигенному семейству ферментов, обеспечивающих метаболизм широкого спектра экзогенных и эндогенных электрофильных соединений, с высокой степенью полиморфности генов, определяющей индивидуальный уровень ферментативной активности. Все ткани человека экспрессируют GST, но каждая ткань имеет уникальный профиль экспрессии. Исследования показывают доминирование GSTP1 в дыхательных путях, его роль в антиоксидантной защите и ассоциации полиморфизма данного изофермента с развитием аллергического воспаления [4, 5].

Цель исследования – исследовать роль полиморфизма *Ile105Val* гена *GSTP1* (rs1695) в развитии аллергических заболеваний у детей в условиях биоэкспозиции ароматическими углеводородами (на примере бензола).

Материалы и методы. Обследовали детское население школьного возраста крупного промышленного центра, в группу наблюдения вошли 30 детей (средний возраст – $11,53 \pm 0,52$ года, мальчики / девочки – 17 / 13) с аллергопатологией: аллергический ринит, аллергический контактный дерматит, атопический дерматит, астма с преобладанием аллергического компонента. Группу сравнения составили 34 ребенка (средний возраст – $11,5 \pm 0,59$ г., мальчики / девочки – 13 / 21), относительно здоровые. Группы были сопоставимы по полу, возрасту, этнической принадлежности ($p > 0,05$). Все законные представители обследованных детей подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Исследование выполнено в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (пересмотр 2013 г.) и одобрено Этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Содержание бензола в биосредах детей изучали на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором «Кристалл 5000» (Россия). Количественные показатели лейкоцитарных фракций исследовали на гематологическом анализаторе «Drew-3» (США). Содержание общего IgE, интерлейкинов IL-6, IL-4, IL-10, фактора некроза опухолей TNF- α , интерферона IFN- γ определяли коммерческими тест-системами (Вектор-Бест, Хема, Россия) иммуноферментным методом на анализаторе «Elx808IU» (BioTek, США). Полиморфизм глутатион-S-трансферазы *GSTP1 Ile105Val* гена (rs1695) изучали методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на термоциклере CFX96 (Bio-Rad, США) с применением наборов «SNP-скрин» (Синтол, Россия).

Собранные данные анализировали в программном пакете «Statistica 10.0» (Statsoft, США). Результаты представлены в виде медианы и первого и третьего квартилей (Me [Q1; Q3]) или частоты (%). Достоверность различий между группами по количественным признакам определяли по U-критерию Манна-Уитни, качественные переменные сравнивали по критерию хи-квадрат (χ^2), различия считали значимыми при уровне $p < 0,05$. Данные генетического анализа обрабатывали в онлайн-калькуляторе «Ген Эксперт», частоты генотипов рассчитывали по равновесию Харди-Вайнберга. Достоверность межгрупповых различий по генетическим критериям определяли по точному критерию Фишера (P) с расчетом отношения шансов OR (odds ratio), относительного риска (RR) и 95%-го доверительного интервала (95 % CI).

Результаты и их обсуждение. Результаты химического анализа показали более высокие уровни содержания бензола в биосредах обследованных детей группы наблюдения (табл. 1), которые достоверно превышали уровень контаминанта в группе сравнения ($p = 0,017$). Содержание специфических антител к бензолу превышало показатели в группе сравнения в 1,4 раза ($p = 0,044$).

Выявленные особенности иммунного профиля детей в группе с аллергопатологией указывают на характерные изменения клеточных показателей (табл. 1) с возрастанием количества эозинофилов крови в 2,0 раза и эозинофильно-лимфоцитарного индекса в 1,7 раза относительно группы сравнения ($p = 0,001-0,003$). Уровень общей сенсибилизации по содержанию IgE общего значительно превышал показатели сравнения, в среднем в 5,6 раза ($p = 0,000$). Сывороточные уровни цитокиновых медиаторов также достоверно возрастали относительно уровней группы сравнения: по содержанию IL-10 – в 1,3 раза, IL-4 – в 2,0 раза и INF-gamma – в 1,7 раза ($p = 0,013-0,030$).

Т а б л и ц а 1

Содержание бензола в крови и показатели иммунной регуляции
у обследованных детей с аллергическими заболеваниями

Показатель	Группа наблюдения	Группа сравнения	p
Бензол, мкг/см ³	0,0009 [0,0; 0,00173]	0,0 [0,0; 0,0]	0,017
IgG к бензолу, у.е.	0,363 [0,256; 0,745]	0,267 [0,11; 0,628]	0,044
IgE общий, МЕ/см ³	124,2 [45,8; 565,6]	22,3 [13,3; 34,8]	0,000
Эозинофилы, %	4,0 [2,0; 6,0]	2,0 [1,0; 3,0]	0,003
Эозинофильно-лимфоцитарный индекс, у.е.	0,095 [0,06; 0,2]	0,055 [0,02; 0,07]	0,001
IL-10, пг/см ³	3,57 [2,81; 4,67]	2,69 [1,81; 3,21]	0,013
IL-6, пг/см ³	1,47 [1,12; 2,18]	1,57 [0,93; 2,0]	0,680
IL-4, пг/см ³	1,55 [0,92; 2,23]	0,78 [0,6; 1,34]	0,019
INF-gamma, пг/см ³	1,59 [0,95; 2,77]	0,95 [0,64; 1,27]	0,030
TNF-alfa, пг/см ³	2,02 [1,19; 2,69]	1,3 [1,19; 2,26]	0,117

П р и м е ч а н и е: p – уровень значимости межгрупповых различий по U-критерию Манна-Уитни.

Проведенный генетический анализ полиморфизма *Ile105Val* гена *GSTP1* (табл. 2) выявил повышенную частоту встречаемости гомозиготного генотипа AA в группе обследованных детей с аллергопатологией относительно группы сравнения ($p = 0,011$). При этом носительство генотипа AA может рассматриваться в качестве маркера чувствительности, ассоциированного с развитием атопических заболеваний ($OR = 4,17$; 95 % CI = 1,45–11,97). Возрастает в 2,3 раза риск развития аллергопатологии у обладателей генотипа AA полиморфного варианта *Ile105Val* гена *GSTP1* в условиях контаминации биосред бензолом, по сравнению с носителями других вариантов генотипов ($RR = 2,27$; 95 % CI = 1,21–4,26).

Таблица 2

Результаты исследования полиморфизма *Ile105Val* гена *GSTP1*
у детей с аллергопатологией

Генотип, аллель	Группа наблюдения, %	Группа сравнения, (%)	P	OR (95 % CI)
AA	60,0	26,5	0,011	4,17 (1,45–11,97)
AG	33,3	52,9	0,136	0,44 (0,16–1,23)
GG	6,7	20,6	0,156	0,28 (0,05–1,45)
A	76,7	52,9	0,006	2,92 (1,36–6,27)
G	23,3	47,1	0,006	0,34 (0,16–0,74)
p^{HWE}	0,86	0,71		

Примечание: P – точный критерий Фишера; OR – отношение шансов; 95 % CI – доверительный интервал; HWE – равновесие Харди-Вайнберга.

Исследование маркеров гиперчувствительности у детей с аллергопатологией, ассоциированных с носительством полиморфного варианта *Ile105Val* гена *GSTP1* (табл. 3), определило значительно более высокие уровни концентрации IgE общего и относительного содержания эозинофилов крови, увеличенные у обладателей генотипа AA в 4,6 раза и в 2,0 раза соответственно относительно других вариантов генотипов ($p = 0,027–0,034$). Доля проб, превышающих референтный показатель, у носителей AA генотипа была значительно выше, в среднем в 2,3 раза по IgE общему и в 2,2 раза по эозинофилам крови, 77,8 % и 72,2 % соответственно ($p = 0,015–0,036$).

Таблица 3

Маркеры гиперчувствительности у детей с аллергопатологией
в зависимости от полиморфного варианта *Ile105Val* гена *GSTP1*

Показатель	Генотип		p
	AA	AG+GG	
IgE общий, МЕ/см ³	253,5 [106,1; 762,7]	54,8 [32,8; 142,0]	0,027
IgE общий > 100,0 МЕ/см ³	77,8 %	33,3 %	0,015
Эозинофилы, %	4,0 [3,0; 9,0]	2,0 [2,0; 4,0]	0,034
Эозинофилы > 3,0 %	72,2 %	33,3 %	0,036

Примечание: p – уровень значимости межгрупповых различий по U-критерию Манна-Уитни.

Аллергические заболевания опосредованы специфическим воздействием средовых факторов и нарушением баланса врожденных и адаптивных иммунных реакций с дальнейшим развитием патологического воспаления [6]. Считается, что изменения окружающей среды, ассоциированные прежде всего с повышением уровня

химической контаминации, являются ведущим фактором быстрого распространения и прогрессирования аллергопатологии [7].

Бензол наряду с другими ароматическими углеводородами является основным компонентом выбросов промышленных предприятий и автотранспорта с высокой повреждающей способностью. Бензол и его метаболиты реализуют преимущественно иммуносупрессивные и цитотоксические эффекты, потенцируя развитие гиперчувствительности и гематологических нарушений, таких как воспаление, окислительный стресс, повреждение ДНК и эпигенетические изменения [8, 9]. Ингибируя Th1-опосредованное звено, бензол активирует CD4⁺T-клетки (Th2), увеличивая уровень IgE и IL-4, а также экспрессию провоспалительных цитокинов (IL-8, TNF- α), или повышая экспрессию соответствующих генов даже при очень низком уровне воздействия [10, 11].

GSTP1 является основным ферментом данной группы в эпителии легких, на который приходится до 90 % активности, поэтому генетический полиморфизм кодирующей последовательности *GSTP1* имеет решающее значение в реализации антиоксидантной защиты и детоксикации аэрогенных химических соединений. Ген *GSTP1* картирован на 11q13.2 хромосоме и состоит из семи экзонов и шести интронов. Полиморфизм *Ile105Val* гена *GSTP1* (rs1695) расположен в кодирующей области вблизи лиганд-связывающего сайта, при котором аденин (A) заменяется на гуанин (G) в 313 положении 5 экзона (313A>G), что приводит к замещению аминокислоты изолейцина (Ile) на валин (Val) в 105 кодоне и изменению физико-химических свойств и вторичной структуры белка, модификации каталитической активности фермента [12]. Исследования показывают связь полиморфизма *Ile105Val* гена *GSTP1* с повышенным риском снижения легочной функции, развития астмы и аллергии в результате воздействия выхлопных газов и промышленных загрязнителей, причем варианты генотипов склонны к более раннему развитию симптомов и более тяжелому течению различных форм аллергопатологии [13, 14].

В то же время данные, касающиеся отдельных полиморфных вариантов *Ile105Val GSTP1*, достаточно противоречивы ввиду различий в дизайне исследований, уровне воздействия, пола, возраста и этнической принадлежности участников. Различные полиморфные варианты *GSTP1* могут существенно отличаться уровнем экспрессии, изменением каталитической активности фермента или специфичности к субстрату, а также зависеть от уровня экспозиции токсикантов [15, 16]. Следует учитывать такие факторы, как возможность межгенных взаимодействий с другими компонентами системы антиоксидантной защиты (например, другие классы *GST*) или внешнесредовыми факторами. Показано, что защитные эффекты генотипов *GSTP1* в отношении негативного влияния дизельных выхлопных газов, наблюдавшиеся при меньших уровнях и вариантах воздействия, могут быть обратными, когда дети подвергаются множественным стрессовым воздействиям факторов среды в раннем возрасте [17]. Следует отметить работы, которые указывают на возможную протективную роль аллеля G (*Val*) и снижение частоты генотипа GG у пациентов с атопией [18]. Сообщается о повышенном риске развития астмы у детей в случае носительства *Ilelle* (AA) генотипа в районах как с высоким, так и с низким уровнем загрязнения воздуха [19]. Исследования контролируемого воздействия на человека, изучающие влияние полиморфизма *GSTP1* на связь между воздействием загрязнения воздуха

выхлопными газами и респираторными заболеваниями и аллергией, также показали усиление аллергического воспаления, повышенный уровень IgE и гистамина у носителей AA генотипа [20].

Важная функция *GSTP1* в реализации антиоксидантной защиты указывает на протекторную роль фермента в условиях контаминации ароматическими углеводородами, поскольку в результате метаболизма бензола наблюдается активация процессов свободно-радикального окисления и развитие окислительного стресса, что в свою очередь может также провоцировать прогрессирование аллергии через регуляцию сигнальных путей (NF-κB, p38-MAPK) и активацию продукции провоспалительных медиаторов [21, 22]. С другой стороны, *GSTP1* непосредственно принимает участие в процессе детоксикации бензола, катализируя конъюгацию оксида бензола с глутатионом. Причем различные полиморфные варианты *GSTP1* могут существенно отличаться уровнем экспрессии, изменением каталитической активности фермента или специфичности к субстрату [23].

Современный подход к пациентам с аллергическими заболеваниями должен сочетать точную диагностику и персонализированное лечение, новые разработки в области прецизионной медицины, фенотипирования и эндотипирования заболеваний, а также идентификацию и применение надежных биомаркеров, включая определение индивидуальной генетической вариабельности в условиях воздействия вредных факторов производства и окружающей среды [24]. Полученные в настоящем исследовании результаты требуют дальнейшего изучения и верификации ввиду ограниченного объема выборки.

Заключение. Проведенное исследование ассоциации генетического полиморфизма *Ile105Val* гена *GSTP1* с развитием аллергопатологии у детей в условиях контаминации биосред бензолом показало смещение вектора иммунной регуляции в направлении Th2-воспалительных ответов при повышении уровня IgE общего, эозинофилов крови и IL-4, ассоциированных с возрастанием частоты гомозиготного AA генотипа (rs1695), который может рассматриваться в качестве перспективного прогностического критерия и маркера индивидуального риска развития atopических процессов у детей на промышленно развитых территориях.

Список литературы

1. Advances and highlights in biomarkers of allergic diseases / I. Ogulur, Y. Pat, O. Ardicli, E. Barletta, L. Cevhertas, R. Fernandez-Santamaria [et al.] // Allergy. – 2021. – Vol. 76, № 12. – P. 3659–3686. DOI: 10.1111/all.15089
2. Амромина А.М., Ситников И.А., Шаихова Д.Р. Взаимосвязь полиморфных вариантов генов GSTM1, GSTT1, GSTP1 с риском развития заболеваний (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 12. – С. 1385–1390. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1385-1390
3. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Долгих О.В. Геномные, транскриптомные и протеомные технологии как современный инструмент диагностики нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов окружающей среды // Гигиена и санитария. – 2020. – Т. 99, № 1. – С. 6–12. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-1-6-12

4. The multifaceted role of glutathione S-transferases in health and disease / A.M.A. Mazari, L. Zhang, Z.W. Ye, J. Zhang, K.D. Tew, D.M. Townsend // *Biomolecules*. – 2023. – Vol. 13, № 4. – P. 688. DOI: 10.3390/biom13040688
5. Роль генов биотрансформации ксенобиотиков семейства глутатион-S-трансфераз (GSTs) в формировании предрасположенности к заболеваниям бронхолегочной системы (обзор литературы) / Е.В. Книжникова, Г.П. Евсеева, Е.Б. Наговицына, С.В. Супрун, О.А. Лебедев // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. – 2020. – Т. 75. – С. 115–125. DOI: 10.36604/1998-5029-2020-75-115-125
6. Симбирцев А.С. Цитокины в иммунопатогенезе аллергии // *РМЖ. Медицинское обозрение*. – 2021. – № 5 (1). – С. 32–37. DOI: 10.32364/2587-6821-2021-5-1-32-37
7. Takano H., Inoue K.I. Environmental pollution and allergies // *J. Toxicol. Pathol.* – 2017. – Vol. 30, № 3. – P. 193–199. DOI: 10.1293/tox.2017-0028
8. The effects of genetic polymorphisms on benzene-exposed workers: A systematic review / V. Ramírez-Lopera, D. Uribe-Castro, H. Bautista-Amorocho, J.A. Silva-Sayago, E. Mateus-Sánchez, W.Y. Ardila-Barbosa [et al.] // *Health Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 4, № 3. – P. e327. DOI: 10.1002/hsr2.327
9. Effects of benzene: hematological and hypersensitivity manifestations in resident living in oil refinery areas / R. Cordiano, V. Papa, N. Cicero, G. Spatari, A. Allegra, S. Gangemi // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10, № 11. – P. 678. DOI: 10.3390/toxics10110678
10. Guo H., Ahn S., Zhang L. Benzene-associated immunosuppression and chronic inflammation in humans: a systematic review // *Occup. Environ. Med.* – 2020. – P. oemed-2020-106517. DOI: 10.1136/oemed-2020-106517
11. Low-dose occupational exposure to benzene and signal transduction pathways involved in the regulation of cellular response to oxidative stress / C. Fenga, S. Gangemi, F. Giambò, C. Tsitsimpikou, K. Golokhvast, A. Tsatsakis [et al.] // *Life Sci.* – 2016. – Vol. 147. – P. 67–70. DOI: 10.1016/j.lfs.2015.12.025
12. The relevance analysis of *GSTP1* rs1695 and lung cancer in the Chinese Han population / J. Xiao, Y. Wang, Z. Wang, Y. Zhang, Y. Li, C. Xu [et al.] // *Int. J. Biol. Markers*. – 2021. – Vol. 36, № 3. – P. 48–54. DOI: 10.1177/17246008211039236
13. Basharat Z., Yasmin A. Energy landscape of a *GSTP1* polymorph linked with cytological function decay in response to chemical stressors // *Gene*. – 2017. – Vol. 609. – P. 19–27. DOI: 10.1016/j.gene.2017.01.034
14. Dai X., Dharmage S.C., Lodge C.J. Interactions between glutathione S-transferase genes and household air pollution on asthma and lung function // *Front. Mol. Biosci.* – 2022. – Vol. 9. – P. 955193. DOI: 10.3389/fmolb.2022.955193
15. Basharat Z., Yasmin A. Energy landscape of a *GSTP1* polymorph linked with cytological function decay in response to chemical stressors // *Gene*. – 2017. – Vol. 609. – P. 19–27. DOI: 10.1016/j.gene.2017.01.034
16. Zarth A.T., Murphy S.E., Hecht S.S. Benzene oxide is a substrate for glutathione S-transferases // *Chem. Biol. Interact.* – 2015. – Vol. 242. – P. 390–395. DOI: 10.1016/j.cbi.2015.11.005
17. Do glutathione S-transferase genes modify the link between indoor air pollution and asthma, allergies, and lung function? A systematic review / X. Dai, G. Bowatte, A.J. Lowe, M.C. Matheson, L.C. Gurrin, J.A. Burgess [et al.] // *Curr. Allergy Asthma Rep.* – 2018. – Vol. 18. – P. 20. DOI: 10.1007/s11882-018-0771-0

18. Молекулярно-генетические аспекты риска здоровью во взаимосвязи с неблагоприятными условиями окружающей среды и питанием (систематический обзор) / Т.В. Мажаева, С.Э. Дубенко, Ю.С. Чернова, И.А. Носова // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 4. – С. 186–197. DOI: 10.21668/health.risk/2022.4.18

19. Do variants in GSTs modify the association between traffic air pollution and asthma in adolescence? / G. Bowatte, C.J. Lodge, A.J. Lowe, B. Erbas, M. Dennekamp, G.B. Marks [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2016. – Vol. 17, № 4. – P. 485. DOI: 10.3390/ijms17040485

20. Interactions of *GST* polymorphisms in air pollution exposure and respiratory diseases and allergies / G. Bowatte, C.J. Lodge, J.L. Perret, M.C. Matheson, S.C. Dharmage // Curr. Allergy Asthma Rep. – 2016. – Vol. 16, № 12. – P. 85. DOI: 10.1007/s11882-016-0664-z

21. Oxidative stress is associated with atopic indices in relation to childhood rhinitis and asthma / C.Y. Wei Choo, K.W. Yeh, J.L. Huang, K.W. Su, M.H. Tsai, M.C. Hua [et al.] // J. Microbiol. Immunol. Infect. – 2021. – Vol. 54, № 3. – P. 466–473. DOI: 10.1016/j.jmii.2020.01.009

22. Co-exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons, benzene and toluene may impair lung function by increasing oxidative damage and airway inflammation in asthmatic children / H. Kuang, J. Liu, Y. Zeng, W. Zhou, P. Wu, J. Tan [et al.] // Environ. Pollut. – 2020. – Vol. 266, Pt 2. – P. 115220. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115220

23. Zarth A.T., Murphy S.E., Hecht S.S. Benzene oxide is a substrate for glutathione S-transferases // Chem. Biol. Interact. – 2015. – Vol. 242. – P. 390–395. DOI: 10.1016/j.cbi.2015.11.005

24. Biomarkers for diagnosis and prediction of therapy responses in allergic diseases and asthma / H. Breiteneder, Y.Q. Peng, I. Agache, Z. Diamant, T. Eiwegger, W.J. Fokkens [et al.] // Allergy. – 2020. – Vol. 75, № 12. – P. 3039–3068. DOI: 10.1111/all.14582

Оптимизация параметров работы масс-спектрометрического детектора Экспрес L-Chrom MS для определения сульфаниламидов в воде

**М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая,
Т.В. Нурисламова, К.С. Сысоева**

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В работе представлены результаты исследований по оптимизации условий масс-спектрометрического детектирования сульфаниламидов на жидкостном хроматографе Экспрес L-Chrom MS с тройным квадруполом. В условиях эксперимента осуществлен подбор основных параметров масс-спектрометрического детектирования – напря-

жение на конусе (CV) и энергия соударения (CE) с целью повышения чувствительности, селективности и точности качественного и количественного определения. Полученные результаты будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методики определения сульфаниламидов в различных водных средах, включая питьевую воду, методом хромато-масс-спектрометрии.

Ключевые слова: сульфаниламиды, оптимизация, масс-спектрометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография, питьевая вода.

Современные физико-химические методы анализа, такие как масс-спектрометрия, широко применяются для идентификации и количественного определения органических соединений в различных средах, в том числе водных образцах. Среди аналитических методов особое значение приобретает жидкостная хроматография с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ–МС/МС), которая обеспечивает высокую чувствительность и селективность при обнаружении сложных соединений в водных образцах [1–4]. В то же время большинство современных масс-спектрометров позволяет оптимизировать условия работы прибора в автоматическом режиме с помощью встроенных программных алгоритмов, что значительно ускоряет процесс настройки параметров и повышает воспроизводимость анализа. На жидкостном хроматографе Expec L-Chrom MS с тройным квадруполем, используемом в данном исследовании, оптимизация параметров – напряжение на конусе (CV) и энергия соударения (CE) – осуществляется вручную [5].

Целью исследования является подбор оптимальных условий работы масс-спектрометрического детектора для анализа сульфаниламидов на приборе Expec L-Chrom MS с тройным квадруполем.

Материалы и методы. Отработку параметров работы масс-спектрометрического детектора CV (напряжение на конусе) и CE (энергия соударения) для анализа сульфаниламидов проводили на жидкостном хроматографе Expec L-Chrom MS с тройным квадруполем (Expec, Китай). Экспериментальные данные регистрировали и обрабатывали с помощью программного обеспечения MassExpert.P004.V005.003 MassControl (Expec, Китай). Исследования проводили с использованием аттестованных растворов сульфаниламидов, приготовленных в ацетонитриле из аналитических стандартов сульфаметазина (SMZ), сульфадимизина (SDM), сульфаниламида (SNA) с содержанием основного вещества $\geq 98\%$ (Clearsynth, Индия). Рабочие растворы сульфаниламидов в ацетонитриле с концентрацией $0,01 \text{ мг/дм}^3$ анализировали на колонке с обращенной фазой C18 размером частиц 5 мкм , внутренним диаметром $4,6 \text{ мм}$ и длиной 150 мм с использованием в качестве подвижной фазы смеси $0,2\%$ муравьиной кислоты в дистиллированной воде и ацетонитрила (30:70, по объему) в изократическом режиме элюирования со скоростью потока $0,7 \text{ см}^3/\text{мин}$. Температура колонки 40°C , объем вводимой пробы 10 мм^3 .

Масс-спектрометрическое детектирование проводили в условиях электро-распылительной ионизации (ESI) в режиме регистрации положительных ионов при следующих параметрах: температура газа десольватации 500°C , напряжение на распыляющем капилляре 5 кВ , напряжение на конусе 50 В , напряжение на плате конуса 600 В , поток распыляющего газа $2 \text{ дм}^3/\text{мин}$, поток газа десольватации $10 \text{ дм}^3/\text{мин}$, блокирующий газ $1,1 \text{ дм}^3/\text{мин}$, напряжение умножителя 2300 В , выходное напряжение 5 В .

В процессе настройки параметров работы масс-спектрометрического детектора осуществляли подбор напряжения на конусе (CV) и энергии соударения (CE) в диапазоне от 10 до 70 В с шагом 10 В. На каждое соединение изучено 28 вариантов параметров в режимах «грубой» и «тонкой» настройки. Выбор оптимальных параметров настройки детектора для анализа сульфаниламидов определяли по количеству ионизированных частиц, детектируемых прибором за одну секунду – cps (counts per second).

Результаты и обсуждение. В ходе исследования проведена оптимизация параметров масс-спектрометрического детектора (CV и CE) при анализе сульфаметазина (SMZ), сульфадимизина (SDM), сульфаниламида (SNA) на жидкостном хроматографе Expec L-Chrom MS с тройным квадруполем. Построены зависимости: количество ионизированных частиц, детектируемых прибором за одну секунду (cps) от напряжения на конусе (CV) и энергии соударения (CE) для каждого сульфаниламида.

Для SMZ в режиме «грубой» настройки в диапазоне от 10 до 70 В максимальный отклик детектора установлен при напряжении на конусе (CV) в диапазоне от 20 до 50 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 35 до 41 В максимальный отклик детектора получен при CV=36 В (рис. 1).

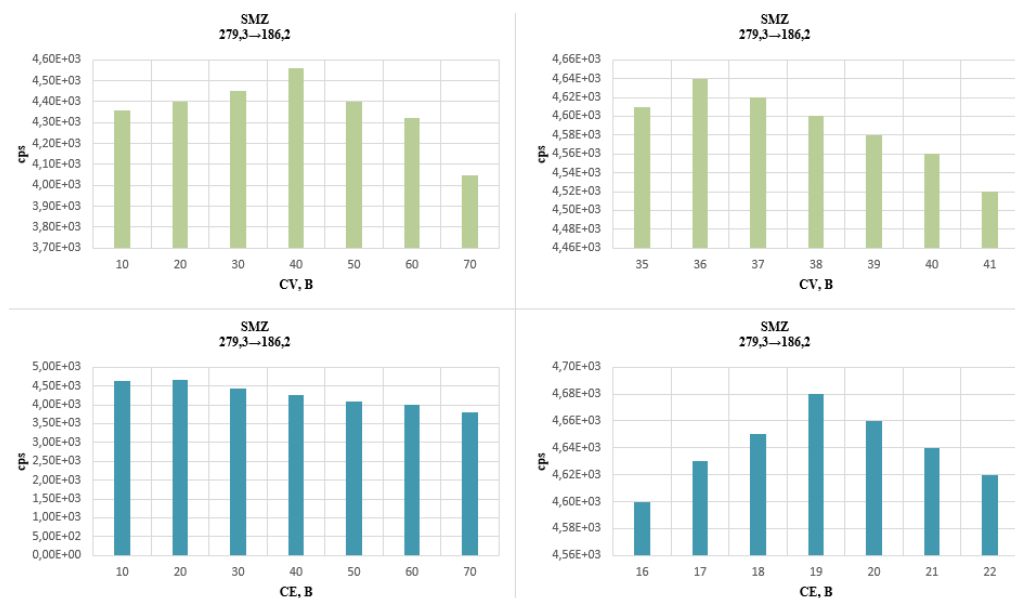


Рис. 1. Подбор оптимальных параметров – напряжение на конусе (CV) и энергии соударения (CE) для сульфаметазина (SMZ)

Сканирование значений энергии соударения (CE) в режиме «грубой» настройки в диапазоне от 10 до 70 В показало максимальные значения в диапазоне от 10 до 20 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 16 до 22 В максимальный отклик детектора получен при CE = 19 В. Оптимальные параметры для анализа SMZ составили: CV = 36 В, CE = 19 В.

Для SDM в режиме «грубой» настройки максимальный сигнал детектора установлен при напряжении на конусе (CV) в диапазоне от 30 до 50 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 35 до 41 В максимальный отклик детектора получен при CV = 38 В. При сканировании значений энергии соударения (CE) в режиме «грубой» настройки максимальные значения получены в диапазоне от 10 до 30 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 16 до 22 В максимальный отклик детектора получен при CE = 20 В. Оптимальные параметры для анализа SDM составили: CV = 38 В, CE = 20 В (рис. 2).

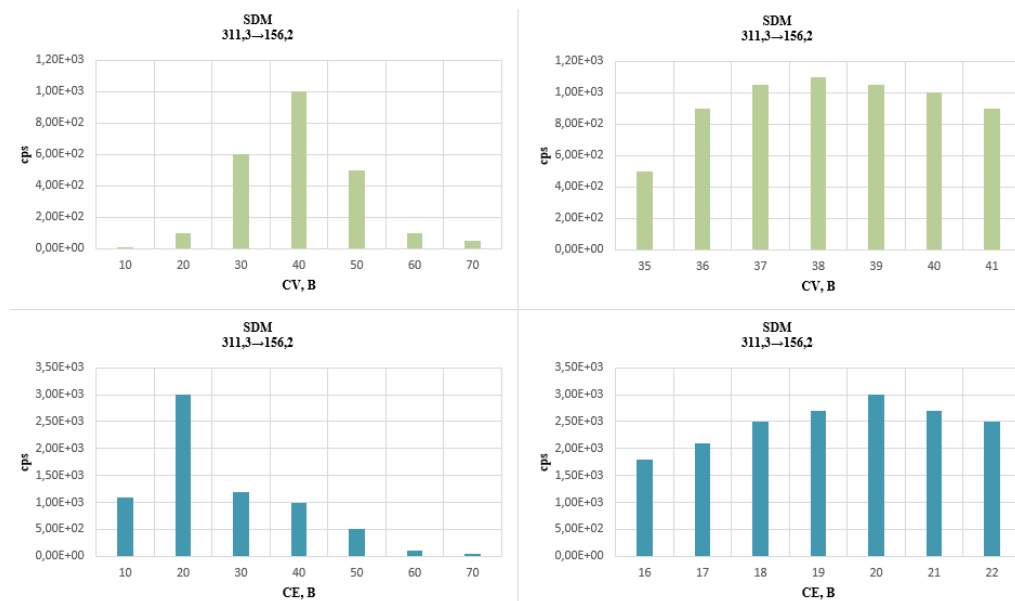


Рис. 2. Подбор оптимальных параметров – напряжение на конусе (CV) и энергия соударения (CE) для сульфадимизина (SDM)

Для SNA в режиме «грубой» настройки максимальный сигнал детектора установлен при напряжении на конусе (CV) в диапазоне от 50 до 70 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 55 до 61 В максимальный отклик детектора получен при CV = 60 В. При сканировании значений энергии соударения (CE) в режиме «грубой» настройки максимальные значения получены в диапазоне от 10 до 30 В. В режиме «тонкой» настройки в диапазоне от 16 до 22 В максимальный отклик детектора получен при CE = 19 В. Оптимальные параметры для анализа SNA составили: CV = 60 В, CE = 19 В (рис. 3).

Полученные результаты согласуются с данными литературы, в соответствии с которыми оптимальные значения напряжения на конусе (CV) при анализе сульфаниламидов методом ВЭЖХ-МС/МС варьируют в пределах от 30 до 60 В (CV), оптимальные значения энергии соударения (CE) составляют от 15 до 20 В [6–9]. В представленной работе значения CV установлены в диапазоне от 36 до 60 В, значения CE составили 19–20 В. Использование ручной настройки позволяет более точно подобрать параметры под конкретные условия анализа, что особенно важно при раз-

работке методик определения сложных соединений в условиях мешающего влияния компонентов, присутствующих в водных матрицах.

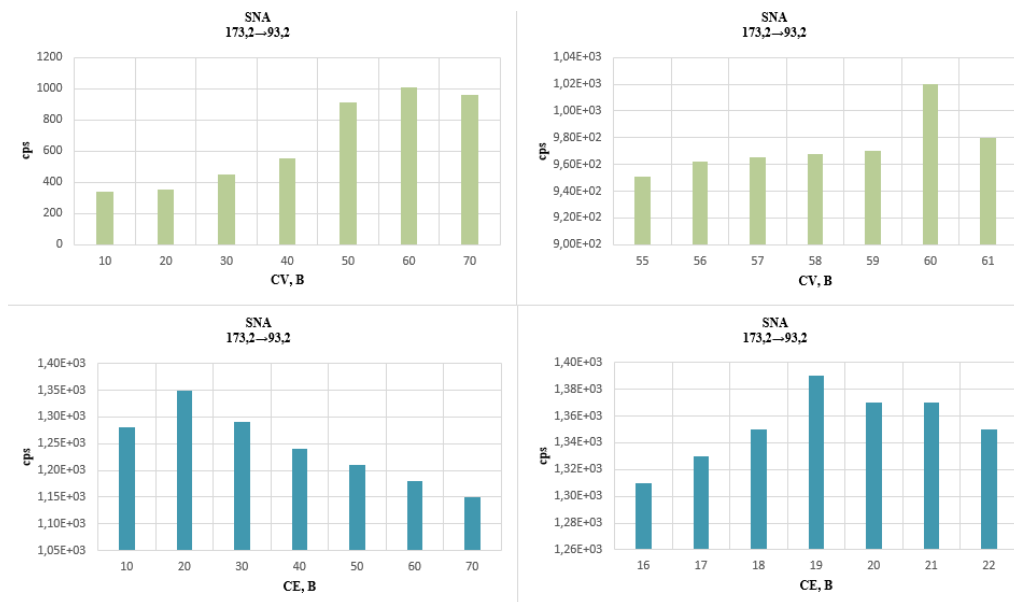


Рис. 3. Подбор оптимальных параметров – напряжение на конусе (CV) и энергия соударения (CE) для сульфаниламида (SNA)

Выводы. Оптимизация параметров масс-спектрометрического детектора, значительно влияющая на чувствительность анализа, является важным этапом при разработке методик хромато-масс-спектрометрического определения соединений. В данном исследовании показано, что ручная настройка параметров масс-спектрометрического детектора позволяет добиться высокой чувствительности и селективности при анализе сульфаниламидов. Подобранные условия работы масс-спектрометра, полученные в результате проведенных экспериментов, будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методики определения сульфаниламидов в различных водных средах, включая питьевую воду, методом ВЭЖХ–МС/МС.

Список литературы

1. Fully-automated SPE coupled to UHPLC-MS/MS method for multiresidue analysis of 26 trace antibiotics in environmental waters: SPE optimization and method validation / M. Zheng, S. Tang, Y. Bao, K. D. Daniels, Z. T. How, M. G. El-Din, L. Tang // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2022. – P. 1–15. DOI: 10.1007/s11356-021-15947-3
2. An Automated Solid-Phase Extraction–UPLC–MS/MS Method for Simultaneous Determination of Sulfonamide Antimicrobials in Environmental / M. Qi, P. He, H. Hu, T. Zhang, T. Li, X. Zhang, Y. Guo // *Molecules*. – 2023. – № 12. – P. 4694. DOI: 10.3390/molecules28124694

3. Simultaneous analysis of multiple classes of antimicrobials in environmental water samples using SPE coupled with UHPLC-ESI-MS/MS and isotope dilution / N.H. Tran, H. Chen, T.V. Do, M. Reinhard, H.H. Ngo, Y. He, K.Y. Gin // *Talanta*. – 2016. – Vol. 159. – P. 163–173. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.06.006

4. A coupled method of on-line solid phase extraction with the UHPLC-MS/MS for detection of sulfonamides antibiotics residues in aquaculture / T. Li, C. Wang, Z. Xu, A. Chakraborty // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 254. – P. 126765. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126765

5. Simultaneous Determination of Biologically Active Components of *Rhodiola rosea* in Extracts of Plant Raw Materials by HILIC-MS/MS / S.A. Nuikin, Y.V. Timchenko, I.A. Rodin // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2025. – № 2. – P. 267–278. DOI: 10.1134/S1061934824701740

6. Validation of a Method for Analysis of Sulfa Drugs in Poultry and Beef Samples using Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry / S.A. Mou, R. Islam, M. Shoad, N. Nahar // *Research Square*. – 2022. – P. 1–14. DOI: 10.21203/rs.3.rs-1958777/v1

7. Trace analysis and identification of 33 sulfonamides and sulfonamide potentiators in eggs by ultrahigh-performance liquid chromatography coupled with quadrupole-high-field orbitrap high-resolution mass spectrometry / S. Cheng, Z. Wei, X. Zhiming, L. Yang, F. Xia // *Analytical Methods*. – 2021. – № 38. – P. 4452–4460. DOI: 10.1093/chromsci/bmac014

8. High-Coverage Screening of Sulfonamide Metabolites in Goat Milk by Magnetic Doped S Graphene Combined with Ultrahigh-Performance Liquid Chromatography–High-Resolution Mass Spectrometry / W. Jia, A. Du, Z. Fan, L. Shi // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2021. – № 16. – P. 4755–4765. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c01431

9. DrugBank Online [Электронный ресурс]. – URL: <https://go.drugbank.com> (дата обращения: 13.08.2025).

Сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при экспозиции нано- и микрочастицами латуни в эксперименте

М.С. Степанков

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Активное использование наночастиц сплава меди и цинка (НЧ CuZn) увеличивает риск экспозиции населения и работающих. Уникальные физические свойства НЧ могут обуславливать развитие более выраженных негативных эффектов сравнительно с воздействием микрочастиц (МЧ). В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на изучение особенностей негативных эффектов действия НЧ CuZn на организм при различных путях экспозиции.

Выполнено экспериментальное исследование и сравнительная оценка физических свойств НЧ и МЧ CuZn и клеточно-фагоцитарной активности бронхоальвеолярной жидкости крыс при однократной интратрахеальной экспозиции. НЧ сравнительно с МЧ обладают меньшим размером, большей удельной площадью поверхности и суммарным объёмом пор (до 1576 раз). Благодаря этому развиваются более выраженные, относительно эффекта МЧ, изменения клеточной популяции, указывающие на развитие более выраженного воспалительного процесса (до 1,9 раза) и степени цитотоксичности (до 5,8 раза). Применение полученных результатов позволит повысить эффективность разработки превентивных мер, направленных на обеспечение безопасности для здоровья работников, производящих, и населения, потребляющих продукцию, содержащую НЧ CuZn.

Ключевые слова: наночастицы, микрочастицы, латунь, клеточно-фагоцитарная активность, интратрахеальная экспозиция.

В настоящее время повсеместно происходит появление новых рынков товаров и услуг, трансформация механизмов производства и технологических стандартов. Данные изменения сопровождаются внедрением в производственные процессы и состав выпускаемой продукции новых материалов, в том числе металлсодержащих наночастиц (НЧ). При сходном с микроразмерными аналогами химическом составе НЧ отличаются уникальными свойствами, в том числе малым размером, высокой удельной площадью поверхности, большей степенью пористости, химической активности, электропроводимости и пр. Благодаря этому использование наноматериалов вместо микроразмерных химических аналогов позволяет удешевить процессы производства продукции и увеличить её качество. В связи с этим спектр отраслей, в которых применяются наноматериалы, постоянно увеличивается и включает в себя энергетическую, химическую, медицинскую, фармацевтическую, пищевую, военную, ресурсоперерабатывающую и прочие отрасли промышленности [1].

Масштабное производство и активное использование продукции наноиндустрии увеличивает риск экспозиции наноразмерными частицами работающих и населения. Предположительно, благодаря уникальным физическим свойствам НЧ сравнительно с микрочастицами (МЧ) при взаимодействии с биологическими системами активнее преодолевают плазматическую мембрану клеток, что приводит к более выраженным нарушениям метаболических процессов, функций и структуры органоидов [2].

Типичным примером активно используемого металлсодержащего наноматериала являются НЧ сплава меди и цинка (CuZn), также известного как латунь. Наноразмерная форма данного сплава обладает высокой электропроводностью, в связи с чем активно применяется при производстве различных компонентов электрооборудования (разъёмы, переключатели, печатные платы, аккумуляторы и пр.) [3]. Благодаря антикоррозионным свойствам покрытия, содержащие в своём составе НЧ CuZn, обладают широким спектром применения в условиях высокой влажности или постоянного контакта с водой, например, в судостроении, строительстве морских конструкций, сантехническом оборудовании [4]. Высокая реакционная способность НЧ CuZn позволяет использовать их в качестве катализатора химических реакций [5]. Экспериментальными исследованиями подтверждено, что экспозиция изолированными НЧ меди и цинка может привести к развитию негативных эффектов, связанных

с окислительным стрессом, нарушением метаболических реакций, повреждением мембран клеток и органоидов, повреждением цепей ДНК, цитолизом [6, 7]. Это позволяет предположить, что данные НЧ в составе сплава CuZn также могут обладать токсическими свойствами. Кроме того, токсичность меди и цинка в составе сплава может подвергаться модификации, обусловленной взаимодействием компонентов при одновременном поступлении в организм. В связи с этим актуальными являются исследования, направленные на изучение особенностей негативных эффектов действия НЧ CuZn на организм при различных путях экспозиции для обеспечения гигиенической безопасности населения и работающих.

Целью данного исследования является сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при однократной интратрахеальной экспозиции НЧ и МЧ CuZn.

Материалы и методы. В исследовании использовали коммерческие порошки НЧ и МЧ CuZn. Сравнительную оценку физических свойств выполняли по показателям размера, удельной площади поверхности и суммарного объема пор. Размер частиц определяли методом анализа изображений, полученных методом растровой электронной микроскопии; удельную площадь поверхности – методом Брунауэра, Эммета и Теллера; суммарный объем пор – методом Баррета, Джойнера и Халенды [8, 9].

Исследование и сравнительную оценку клеточно-фагоцитарной активности выполняли на крысах линии Wistar в соответствии с МР № 01-19/24-17. Манипуляции с животными проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123), и с одобрения этического комитета Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения. Сформировали 3 группы по 6 особей: опытная группа – для изучения воздействия НЧ CuZn, группа сравнения – для изучения воздействия МЧ, контрольная группа – для экспозиции основной суспензии без содержания тестируемых материалов. Суспензии подготавливали непосредственно перед экспозицией на основе 0,9 % раствора натрия хлорида в концентрации НЧ и МЧ 0,013 г/см³. Для равномерного распределения частиц суспензии подвергали ультразвуковой обработке. Введение крысам осуществляли однократно интратрахеально в объеме 0,4 см³. Через 24 часа после экспозиции выполняли процедуру бронхоальвеолярного лаважа. Отобранные образцы бронхоальвеолярной жидкости центрифугировали, из полученного осадка готовили мазок. Методом световой микроскопии в подготовленном препарате изучали состав клеточной популяции.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программного продукта STATISTICA 10. Оценку статистической значимости межгрупповых различий средних осуществляли с учетом несоответствия полученных значений в выборках закону нормального распределения по U-критерию Манна-Уитни при заданном уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Сравнительная оценка физических свойств изучаемых материалов показала, что образец нанопорошка CuZn, в отличие от микро-размерного химического аналога, на 84,4 % состоит из частиц нанодисперсной фазы. Средний размер НЧ составил 59 ± 17 нм, что меньше данного показателя у МЧ в

1576 раз. Удельная площадь поверхности НЧ составила 9,1 м²/г, суммарный объём пор – 0,03 см³/г. Значения данных показателей выше относительно МЧ в 28,5 и 15,8 раза соответственно.

При однократной интратрахеальной экспозиции НЧ CuZn в бронхоальвеолярной жидкости установлено изменение состава клеточной популяции в виде увеличения относительного числа сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, соотношения сегментоядерных нейтрофилов к альвеолярным макрофагам в 2,0–9,5 раза ($p = 0,005–0,031$) относительно контроля; уменьшения относительного числа альвеолярных макрофагов, моноцитов и лимфоцитов в 1,9–3,7 раза ($p = 0,005–0,025$) (таблица). При экспозиции МЧ CuZn увеличивается относительное число сегментоядерных нейтрофилов и их соотношение к альвеолярным макрофагам в 1,5–1,7 раза ($p = 0,010–0,020$) относительно контроля; уменьшается относительное число моноцитов в 2,1 раза ($p = 0,010$). Сравнительная оценка показателей между экспонированными группами показала, что экспозиция НЧ вызывает более выраженное, относительно микроразмерного химического аналога, увеличение числа сегментоядерных нейтрофилов и их соотношения к альвеолярным макрофагам в 1,9–5,8 раза ($p = 0,005$); уменьшение относительного числа альвеолярных макрофагов и лимфоцитов в 2,4–3,1 раза ($p = 0,005–0,008$).

Результаты подсчёта клеточной популяции в 100 клетках жидкости бронхоальвеолярного лаважа крыс через 24 часа после интратрахеальной инстилляции суспензий НЧ и МЧ CuZn

Группа	Клеточный состав бронхоальвеолярной жидкости ($M \pm m$)					
	Альвеолярные макрофаги, %	Сегментоядерные нейтрофилы, %	Моноциты, %	Лимфоциты, %	Эозинофилы, %	Сегментоядерные нейтрофилы / Альвеолярные макрофаги, у.е.
Опытная группа НЧ CuZn	12,5 ± 0,56	74,5 ± 1,06	3,2 ± 0,70	6,8 ± 1,01	3,0 ± 0,37	5,9 ± 0,31
Группа сравнения МЧ CuZn	38,8 ± 0,95	39,7 ± 1,71	2,8 ± 0,48	16,7 ± 1,63	2,0 ± 0,37	1,0 ± 0,06
Контрольная группа	45,8 ± 2,97	26,8 ± 3,28	6,0 ± 0,58	19,8 ± 1,7	1,5 ± 0,34	0,6 ± 0,12

Таким образом, НЧ CuZn обладают меньшим размером, большей удельной площадью поверхности и суммарным объёмом пор (до 1576 раз) относительно МЧ, что может указывать на их большую проникающую способность в клетку и токсические эффекты. Однократная интратрахеальная экспозиция НЧ CuZn способствует изменению состава клеточной популяции бронхоальвеолярной жидкости, которые могут указывать на развитие воспалительной реакции по увеличению относительного числа сегментоядерных нейтрофилов и эозинофилов (до 2,8 раза относительно контроля) [10]. Более выраженное изменение данных показателей (до 1,9 раза) отно-

сительно эффекта, оказываемого микроразмерным химическим аналогом, указывает на более выраженный воспалительный процесс. Развитие воспалительной реакции, вызванной НЧ CuZn, может быть обусловлено окислительным стрессом, инициируемым усилением генерации свободных радикалов [11]. Увеличение содержания сегментоядерных нейтрофилов и уменьшение числа альвеолярных макрофагов при экспозиции НЧ и МЧ CuZn приводит к увеличению соотношения данных клеток (до 9,5 раза относительно контроля). Данные изменения более выражены (в 5,8 раза) при воздействии НЧ сравнительно с эффектом, оказываемым МЧ. Известно, что мобилизация нейтрофилов менее выражена при большей резистентности альвеолярных макрофагов к цитотоксическому действию вещества [12]. Поэтому увеличение числа сегментоядерных нейтрофилов рассматривается как компенсаторный механизм, благодаря которому сохраняется фагоцитарная активность пула клеток при дегенерации альвеолярных макрофагов. Исходя из этого, можно предположить, что НЧ CuZn обладают большей степенью цитотоксичности в сравнении с микроразмерным химическим аналогом.

Вывод. НЧ CuZn отличаются от микроразмерного химического аналога меньшим размером, большей удельной площадью поверхности и суммарным объёмом пор (до 1576 раз). Благодаря этому НЧ вызывают более выраженные (до 5,8 раза), сравнительно с воздействием МЧ, изменения клеточной популяции бронхоальвеолярной жидкости, указывающие на развитие воспалительной реакции и цитотоксический эффект. Применение полученных результатов позволит повысить эффективность разработки превентивных мер, направленных на обеспечение безопасности для здоровья работников, производящих, и населения, потребляющих продукцию, содержащую НЧ CuZn.

Список литературы

1. Metal and Metal Oxide Nanoparticles Market, Global Outlook and Forecast 2023-2030 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.24chemicalresearch.com/reports/250020/global-metal-metal-oxide-nanoparticles-forecast-market-2023-2030-43> (дата обращения 30.08.2025).
2. Dependence of nanoparticle toxicity on their physical and chemical properties / A. Sukhanova, S. Bozrova, P. Sokolov [et al.] // *Nanoscale. Res. Lett.* – 2018. – Vol. 13. – P. 44.
3. Satoh T., Kume Y., Usui M. Brass bonding using copper nanoparticles and zinc powder for packaging of power electronic devices // *Journal of Alloys and Compounds.* – 2019. – Vol. 788. – P. 338–344.
4. Antibacterial and anticorrosive properties of CuZnO@RGO waterborne polyurethane coating in circulating cooling water / G. Jiang, X. Li, Y. Che [et al.] // *Environ Sci Pollut Res Int.* – 2019. – Vol. 26, № 9. – P. 9027–9040.
5. Copper-zinc alloy nanopowder: a robust precious-metal-free catalyst for the conversion of 5-hydroxymethylfurfural / G. Bottari, A.J. Kumalaputri, K.K. Krawczyk [et al.] // *ChemSusChem.* – 2015. – Vol. 8, № 8. – P. 1323–1327.
6. Copper oxide nanoparticles: In vitro and in vivo toxicity, mechanisms of action and factors influencing their toxicology / H. Sajjad, A. Sajjad, R.T. Haya [et al.] // *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology.* – 2023. – Vol. 271. – P. 109682.

7. In vitro cytotoxicity effects of zinc oxide nanoparticles on spermatogonia cells / A.R. Pinho, F. Martins, M.E. Costa [et al.] // Cells. – 2020. – Vol. 9, № 5. – P. 1081.

8. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М: Мир, 1984. – 306 с.

9. Barrett E.P., Joyner L.G., Halenda P.P. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms // J. Am. Chem. Soc. – 1951. – Vol. 73. – P. 373–380.

10. Ernst A., Herth F.J.F. Bronchoalveolar Lavage // Principles and Practice of Interventional Pulmonology. – 2012. – P. 165–176.

11. Oxidative stress and potential effects of metal nanoparticles: A review of biocompatibility and toxicity concerns / Y.-L. Wang, Y.-H. Lee, C.-L. Chou [et al.] // Environmental Pollution. – 2024. – Vol. 346. – P. 123617.

12. Пневмокониозы: патогенез и биологическая профилактика / Кацнельсон Б.А., Алексеева О.Г., Привалова Л.И., Ползик Е.В. – Екатеринбург: УрО РАН, 1995. – 328 с.

Раздел IV

**Фундаментальные и прикладные
аспекты здоровья детей
и подростков в новых условиях
обучения, воспитания, образа
жизни и иных факторов.
Профилактика заболеваний**

Иммунные нарушения, вовлекающие механизмы гиперчувствительности, у детей в условиях низкоуровневой аэрогенной экспозиции формальдегидом

И.Н. Аликина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Выполнена оценка иммунологических и генетических особенностей у детей, проживающих в условиях низкоуровневого загрязнения воздуха формальдегидом. У детей группы наблюдения уровень формальдегида в крови был в 1,4 раза выше, чем в группе сравнения ($p = 0,015$). Превышение IgE общего отмечено у 54,2 % детей, эозинофилов – у 70,8 %. Избыточная экспрессия кластеров CD277+, CD284+ и специфического IgE к формальдегиду выявлена у 71,3, 68,5 и 85,1 % детей группы наблюдения соответственно ($p = 0,000–0,046$). Уровень формальдегида в крови коррелировал с повышением IgE общего ($R^2 = 0,71$) и CD277+ ($R^2 = 0,89$). Обнаружена ассоциация Т-аллеля и ТТ-генотипа гена *GPx4 C718T* ($OR = 1,59$ и $OR = 5,10$) с аллергией и риском нарушения метаболизма альдегидов ($RR = 1,30$).

Ключевые слова: формальдегид, аэрогенная экспозиция, иммунные маркеры, аллергические заболевания, дети.

Атмосфера промышленных городов характеризуется повышенной концентрацией формальдегида, который, согласно классификации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), является потенциальным канцерогеном. Формальдегид оказывает выраженное токсическое воздействие на дыхательную, иммунную и репродуктивную системы человека [1]. Эпидемиологические исследования подтверждают связь воздействия формальдегида с увеличением распространенности и тяжести аллергической астмы [2]. Кроме того, в последние годы внимание научного сообщества все чаще привлекает нейротоксичность формальдегида, особенно в контексте процессов старения и канцерогенеза, обусловленных как бытовым, так и профессиональным воздействием [3].

Цитотоксическое действие формальдегида проявляется в двух противоположных эффектах: индукции апоптоза (гибель клеток) и стимуляции пролиферации клеток, причем характер воздействия зависит от уровня экспозиции [3]. Хроническое воздействие формальдегида приводит к воспалительным и дегенеративным изменениям эпителия слизистых оболочек верхних дыхательных путей, сенсибилизации организма и поражению легких. Как аллерген формальдегид способствует развитию ринита, ларингита, бронхоспастического синдрома, бронхиальной астмы, отека Квинке и крапивницы. При ингаляционном поступлении в организм формальдегид оказывает общетоксическое действие, а также сенсибилизирующий и иммуноотропный эффекты, которые проявляются в образовании специфических антител (IgM,

IgG, IgE) к формальдегиду, увеличении числа Т-клеток памяти и антигенной стимуляции иммунной системы [4, 5].

Исследования показывают, что проживание детей в условиях загрязнения атмосферного воздуха органическими соединениями и тяжелыми металлами сопровождается ростом заболеваемости болезнями органов дыхания в 1,9 раза, а болезнями с аллергическим компонентом – в 3,5 раза [6]. Проблема изучения иммуотоксических свойств химических загрязнителей окружающей среды остается крайне актуальной, поскольку нарушения иммунологической реактивности могут приводить к развитию инфекционных и онкологических заболеваний, а также формированию аутоиммунных и аллергических процессов.

Цель исследования – изучение особенностей иммунологического и генетического статуса у детей с аллергопатологией, проживающих в условиях низкоуровневой аэрогенной экспозиции формальдегидом.

Материалы и методы. В нашем исследовании было обследовано детское население ($n = 74$) в возрасте от 7 до 13 лет, которое постоянно проживало в условиях низкоуровневой аэрогенной экспозиции формальдегидом (0,6 ПДКс.с.). Группа наблюдения состояла из 34 детей с различными формами аллергических состояний: хроническим ринитом (J31.0), другими типами аллергического ринита (J30.3) и другими формами атопического дерматита (L20.8). Группа сравнения состояла из 40 детей, не страдающих аллергией. Группы детей сформированы из равного числа девочек и мальчиков и проживали в исследуемых районах с рождения.

Лабораторное обследование включало исследование общего анализа крови. Количество эозинофилов в крови определяли на автоматическом гематологическом анализаторе DREW-3 (Biocode Hycel Holdings SAS, Франция). Анализ содержания в крови CD277 и CD284 лимфоцитов определяли методом проточной цитофлуориметрии. Процент клеток в образце определяли на проточном цитометре FACSCalibur производства Becton, Dickinson and Company, используя универсальное программное обеспечение CELLQuestPro. Для анализа полиморфизма гена *GPX4* rs713041 мы использовали метод полимеразной цепной реакции. ПЦР с флуоресцентной детекцией в реальном времени проводили на приборе CFX96 производства Bio-Rad Laboratories. Уровень общего иммуноглобулина Е (IgE) определяли с помощью иммуноферментного анализа (ELISA) (тест-системы фирмы «Вектор-Бест», г. Новосибирск) на анализаторе «TECAN Sunrise» (Австрия). Уровень специфического IgE к формальдегиду определяли путем тестирования на аллергены с использованием аллергосорбентного теста.

В соответствии с МУК 4.1.1045-01 определяли концентрацию формальдегида в воздухе, используя метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Измерение содержания формальдегида в образцах крови проводилось на капиллярном газовом хроматографе «Кристалл 5000» производства ЗАО «СКБ Хроматек» в соответствии с МУК 4.1.2111-06.

Статистический анализ данных проводился с использованием пакета STATISTICA, version 10.0 (StatSoft, Inc.) и Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft). Учитывая, что данные в группах соответствовали закону нормального распределения, были рассчитаны стандартные отклонения и ошибки средних величин. Чтобы определить, были ли значимые различия между группами, мы использовали непар-

ный t-критерий, чтобы отклонить нулевую гипотезу (о том, что различий нет), уровень статистической значимости принимался как $p < 0,05$. В некоторых случаях также рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона (r) для изучения взаимосвязи между признаками. Был проведен регрессионный анализ для определения значимости моделей на основе критерия Фишера и коэффициента детерминации (R -квадрат). Чтобы определить влияние приоритетных факторов на функцию иммунной системы, были рассчитаны относительный риск (RR) и пределы доверительного интервала (95 % CI). Использовали уровень значимости $p < 0,05$ при значении $RR > 1$ и нижней границе CI больше 1.

Все исследования были выполнены сотрудниками ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (отделы иммунобиологических методов диагностики, биохимических и цитогенетических методов диагностики, химико-аналитических методов исследования).

Результаты исследования. У детей, проживающих в условиях низкоуровневой аэрогенной экспозиции формальдегидом, равной 0,6 ПДКс.с., при среднесуточной дозе в $7,74 \cdot 10^{-2}$ мкг/(кг·день), различался уровень формальдегида в крови – у детей с аллергопатологией (группа наблюдения) он был достоверно выше ($0,0251 \pm 0,0047$ мг/дм³), чем в группе сравнения ($0,0175 \pm 0,0023$ мг/дм³) (в 1,4 раза, $p = 0,015$).

Группа наблюдения отличалась более высоким уровнем сенсибилизации (IgE общий) с превышением физиологической нормы у 54,2 % обследованных. Результаты клинического исследования крови на содержание эозинофилов показали превышение референтного значения у 70,8 % детей группы наблюдения. Было установлено, что частота регистрируемых проб с превышением физиологической нормы по критериальным показателям иммунорегуляции (абсолютных и относительных значений CD277, CD284 и специфического IgE к формальдегиду) составила 71,3, 68,5 и 85,1 % соответственно ($p = 0,000$ – $0,046$) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Иммунологические показатели у обследованных групп ($M \pm m$)

Показатель	Физиологическая норма	Группа наблюдения, $n = 34$	Группа сравнения, $n = 40$	P
CD277 ⁺ – лимфоциты, отн., %	4,6–14,36	$17,50 \pm 1,07$	$5,08 \pm 0,62$	0,000
CD277 ⁺ – лимфоциты, абс., 10^9 /л	0,2–1,81	$0,52 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,02$	0,000
CD4+CD284 ⁺ – лимфоциты, отн., %	2,7–4,02	$10,38 \pm 0,83$	$3,95 \pm 0,42$	0,000
CD4+CD284 ⁺ – лимфоциты, абс., 10^9 /л	0,04–0,2	$0,31 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,012$	0,000
IgE общий, МЕ/см ³	0–49,9	$109,35 \pm 19,17$	$69,984 \pm 5,79$	0,054
IgG к формальдегиду, у.е.	0–0,15	$0,26 \pm 0,05$	$0,09 \pm 0,01$	0,003

П р и м е ч а н и е: P – межгрупповые различия.

Сравнительный анализ кластеров клеточной дифференцировки в анализируемых группах позволил выявить достоверную гиперэкспрессию регуляторных медиаторов в группе наблюдения, ассоциированных с аллергией: бутирофилина CD277 отн./абс., Toll-подобного рецептора 4 CD284 отн./абс., специфического IgE

к формальдегиду в 3,4 и 2,08, 2,6 и 2,9 раза соответственно по сравнению с группой сравнения (табл. 1).

Результаты сравнительной межгрупповой оценки индикаторных показателей, ассоциированных с аллергопатологией, по критерию относительного риска (RR)¹ позволили установить повышенный риск избыточной экспрессии мембранных показателей клеточной дифференцировки: $CD277^{+}$ отн. ($RR = 1,2$; 95 % CI: 0,81–1,90), $CD4^{+}CD284^{+}$ отн. ($RR = 1,3$; 95 % CI: 1,02–1,64), $CD4^{+}CD284^{+}$ абс. ($RR = 1,3$; 95 % CI: 1,06–1,68). Изучение причинно-следственных связей показало наличие достоверной зависимости иммунорегуляторных эффектов от уровня контаминации биосред формальдегидом. Так, определена высокая положительная связь повышения IgE общего ($R^2 = 0,71$; $F = 20,13$ при $p \leq 0,000$) и кластера $CD277^{+}$ от уровня формальдегида в крови ($R^2 = 0,89$, $F = 59,43$; $p \leq 0,000$).

По результатам оценки частотности аллелей и генотипов гена глутатионпероксидазы 4 ($GPx4$ C718T rs713041), установлено, что частота Т аллеля ($OR = 1,59$; CI: 1,06–2,78; $RR = 1,30$; CI: 1,04–1,63; $p < 0,005$) и ТТ генотипа ($OR = 5,10$; CI: 1,56–16,68; $p < 0,005$) группы детей с аллергией достоверно выше группы детей без аллергии в 1,3 и 3,9 раза соответственно (табл. 2), наличие которых ассоциировано с нарушением контроллинга образования альдегидных связей и эффектов арахидоновой кислоты.

Таблица 2

Сравнительный анализ распределения частот генотипов и аллелей гена $GPx4$ C718T в исследуемых группах

Ген	Генотипы / аллели	Группа наблюдения (n = 34)	Группа сравнения (n = 40)	OR (95 % CI)	Уровень значимости (p)
$GPx4$ C718T rs713041	CC	37,25	37,74	0,98 (0,44–2,17)	0,002
	CT	33,33	54,72	0,41 (0,19–0,92)	
	TT	29,41	7,55	5,10 (1,56–6,68)	
	C*	53,92	65,09	0,20 (0,06–0,64)	0,004
	T	46,08	34,91	1,59 (1,06–2,78)	

Примечание: * – наследуется по рецессивному типу $p < 0,005$.

Закключение. Результаты исследования показали, что даже низкоуровневая аэрогенная экспозиция формальдегидом (0,6 ПДКс.с.) приводит к его накоплению в биологических средах и формированию как общей, так и специфической сенсибилизации детского организма к данному токсиканту. Это сопровождается повышен-

¹ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

ной экспрессией кластеров дифференцировки клеток, ассоциированных с аллергией, таких как бутирофилин CD277 и Toll-подобный рецептор CD284. Полиморфизм гена детоксикации и антиоксидантной защиты *GPx4 C718T* rs713041 у детей группы наблюдения приводит к избыточному накоплению альдегидов и арахидоновой кислоты и возрастанию риска ($RR = 1,30$) развития аллергических процессов у детей в условиях низкочастотной аэрогенной экспозиции формальдегидом.

Список литературы

1. Effects of formaldehyde on lymphocyte subsets and cytokines in the peripheral blood of exposed workers / X. Jia, Q. Jia, Z. Zhang, W. Gao, X. Zhang, Y. Niu, T. Meng, B. Feng [et al.] // PLoS One. – 2014. – Vol. 9. – P. 1–8. DOI: 10.1371/journal.pone.0104069
2. Assessment of immunotoxicity and genotoxicity in workers exposed to low concentrations of formaldehyde / S. Aydin, H. Canpinar, U. Undeger, D. Guç, M. Çolakoglu // Archives of Toxicology. – 2013. – Vol. 87. – P. 145–153. DOI: 10.1007/s00204-012-0961-9
3. A fatal case of accidental oral formaldehyde poisoning and its pathomorphological characteristics / L. Zhang, Y. Li, L. Wang, S. Zhang, G. Zhang, M. Zuo, W. Shi, B. Cong // International Journal of Legal Medicine. – 2022. – Vol. 136, № 5. – P. 1303–1307. DOI: 10.1007/s00414-022-02821-1
4. Differential effects of formaldehyde exposure on airway inflammation and bronchial hyperresponsiveness in BALB/c and C57BL/6 mice / L. Li, L. Hua, Y. He, Y. Bao // PLoS One. – 2017. – Vol. 12, № 6. – P. e0179231. DOI: 10.1371/journal.pone.0179231
5. Mo W., He R. The Role of Formaldehyde in Cell Proliferation and Death // Formaldehyde and Cognition. – 2017. – P. 79–97.
6. Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Землянова М.А. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов. – Пермь: Кн. формат, 2011. – 531 с.

Особенности иммунного и нейроэндокринного статуса у подростков в условиях избыточной контаминации биосред ароматическими углеводородами

Н.А. Вдовина, О.В. Долгих

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Загрязнение окружающей среды токсическими отходами техногенного характера представляет реальную угрозу для здоровья человека. Определенному риску подвергается население, проживающее вблизи производственных объектов, в особенности дети. В

отличие от острого отравления, хроническое отравление углеводородами не дает выраженной картины нарушений здоровья. Но, как показали исследования, при долгосрочном действии малых доз этих веществ развиваются болезни нервной, сердечно-сосудистой, иммунной, желудочно-кишечной и др. систем организма. В период полового созревания детский организм претерпевает значительные изменения, которые в условиях воздействия внешних химических факторов могут сопровождаться формированием дисбаланса регуляторных систем, особенно эндокринной и иммунной. Проведенное обследование подростков указывает на существенные функциональные сдвиги регуляторных систем. Нарушения затрагивают как клеточное, так и гуморальное звено иммунитета, а также компартменты нейроэндокринной регуляции.

Ключевые слова: иммунная система, нейроэндокринный статус, дети подросткового возраста, ароматические углеводороды.

В современных условиях становится очевидным, что сохранение и укрепление здоровья населения в значительной мере зависит от состояния окружающей среды. Улучшение состояния среды обитания человека относится к числу самых приоритетных задач современности [1].

Наиболее незащищенным контингентом к действию неблагоприятных факторов окружающей среды являются чувствительные группы населения, в частности, подростки, здоровье и ответные функциональные реакции организма которых могут служить надежным индикатором экологического благополучия региона. Национальные приоритеты должны определяться на основе региональной оценки связанных со здоровьем аспектов химической безопасности, в особенности возникающих вопросов по контролю качества объектов окружающей среды [2].

Состоянию здоровья детей и подростков всегда уделялось пристальное внимание, так как подрастающее поколение во многом определяет будущее страны. Подростковый возраст чрезвычайно важен в физиологическом, психологическом, нравственном и социальном становлении человека. Именно в этот период завершается формирование всего организма: происходит нейроэндокринная перестройка, меняется иммунный статус и тонус вегетативной нервной системы. Репродуктивная система подростков является одной из наиболее чувствительных, тонко реагирующей на различные воздействия [3]. В результате хронической интоксикации происходит снижение неспецифической иммунной защиты организма, что, в свою очередь, открывает дорогу многим заболеваниям как аллергической, так и неаллергической природы [4].

Рост заболеваний, ассоциированных с факторами среды обитания среди детей подросткового возраста, отчетливо регистрируется в крупных регионах и характеризуется выраженными дезадаптивными изменениями в органах и системах: дыхания, мочевыделения, кровообращения, желудочно-кишечного тракта, кроветворения, нервной, эндокринной и иммунной систем, которые сопровождаются замедлением физического и психического развития [5].

Ароматические углеводороды – бензол, толуол, о-, м-, п-ксилолы – относят к высокоопасным химическим веществам (II класс опасности). Данные соединения являются компонентами эмиссий предприятий основного органического синтеза, химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической отраслей и представляют наибольший риск для здоровья населения. Главные источники поступления в объекты внешней среды – это перегонка угля и ряд нефтехимических процессов, в частности,

каталитический риформинг, перегонка сырой нефти и алкилирование низших ароматических углеводов. Характерной особенностью данных соединений является значительная распространенность в атмосферном воздухе населенных мест и в воде поверхностных водоемов, а также высокая повреждающая способность при длительном внешнесредовом поступлении в организм даже в незначительных количествах и концентрациях, не превышающих существующие гигиенические нормативы.

Основной путь поступления бензола и его гомологов в организм – ингаляционный. При воздействии бензола в виде паров через органы дыхания он сразу попадает в кровеносное русло в результате диффузии через альвеолярные капилляры, обходя защитные детоксикационные барьеры, в том числе и печень [6]. Находясь в кровеносном русле, бензол, его гомологи и их метаболиты оказывают негативные эффекты на различные функциональные системы на молекулярном, клеточном и системном уровнях, в том числе опосредуя иммунотоксическое действие при развитии атопических процессов [7].

По результатам отечественных исследований установлено, что химические факторы окружающей среды, обладающие тропностью к нервной системе (бензол, толуол, ксилолы, марганец, никель и др.), вызывают нейроанатомические и функциональные изменения на любом уровне организации системы. Это проявляется в виде нарушения синтеза и высвобождения нейротрансмиттеров из синапса, изменения порога или скорости нейротрансмиссии, ухудшения в ощущениях, зрении, слухе, осязании, рефлексам, памяти и внимании, что приводит к развитию астено-невротических и вегетативных расстройств [8].

Бензол оказывает выраженное гематотоксическое действие, при этом в наибольшей степени страдает лимфоидная линия клеток, так как полигидроокисленные метаболиты бензола аккумулируются в костном мозге и лимфоидных органах, вызывая гипоплазию и цитопению центральных и периферических органов иммунной системы [9].

Среди лимфоидных органов наибольшей чувствительностью к бензолу отличается тимус. Доказано, что клеточность тимуса снижается уже тогда, когда клеточность лимфатических узлов и селезенки еще не изменяется. В селезенке клеточность уменьшается за счет количества малых лимфоцитов при снижении соотношения содержания Т- и В-клеток, в лимфатических узлах – за счет равномерного снижения концентрации Т- и В-лимфоцитов

Первой страдает Т-система иммунитета, это, возможно, связано с тем, что Т-лимфоциты характеризуются наиболее высоким содержанием в них микросомальных цитохромов Р-450, которые участвуют в биотрансформации ксенобиотиков и, в частности, бензола, однако при выраженных формах интоксикации угнетается и В-система иммунитета. При этом нарушается баланс как среди содержания лимфоцитов различной природы, так и между количеством иммунокомпетентных и кроветворных клеток. В результате это вызывает как нарушение иммуногенеза (угнетение антителогенеза), так и миелопоза. Дисбаланс клеточных коопераций лимфоидной системы ослабляет иммунологический контроль за антигенраспознающими свойствами лимфоцитов, что ведет к появлению запрещенных клонов и, как следствие, усилению аутоиммунных процессов [10].

Известно, что хроническое поступление бензола в организм способствует быстрому и стойкому угнетению В-клеток (CD19), а также нарушению регуляции цен-

тральной нервной системы, в связи с чем наблюдается изменение уровня серотонина, который участвует в передаче сигналов между нервными клетками. При хроническом поступлении бензола в малых концентрациях нарушается функция кроветворных органов, что вызывает дисбаланс клеток иммунитета ($CD3^+$, $CD3^+CD4^+$, $CD3^+CD8^+$, $CD16^+CD56^+$) [9].

Цель работы – провести оценку особенностей иммунных и нейроэндокринных показателей у подростков в условиях избыточной контаминации биосред ароматическими углеводородами.

Материалы и методы. Проведено клинико-лабораторное обследование школьников-подростков, постоянно проживающих в промышленно развитом регионе Западного Урала. Углубленным обследованием охвачено 53 школьника пубертатного возраста (12–16 лет), имеющих повышенное содержание ароматических углеводородов (бензол, о-ксилол, п-, м-ксилол и толуол) в крови (группа наблюдения) и 41 школьник с содержанием в крови изучаемых химических веществ в концентрациях, соответствующих референтным значениям (группа контроля).

Все законные представители обследованных детей подписали информационное согласие на участие в исследовании. Исследование проводилось на базе ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации ВМА. Сравниваемые группы сопоставимы по гендерному признаку, возрастному критерию и не имеют различий по социально-экономическим факторам риска здоровью.

Содержание ароматических углеводородов (бензол, толуол, о-, м-, п-ксилол) в крови школьников определяли газохроматографическим методом, использовали газовый хроматограф с пламенно-ионизационным детектором «Кристалл-5000» (Россия). Фракции лимфоцитов по мембранным CD-маркерам определяли на проточном цитометре FACSCalibur (Becton Dickinson, США) на панелях меченых моноклональных антител с помощью универсальной программы CellQuestPro, суммарно регистрируя не менее 10 тыс. событий. Для выявления специфических антител IgG к бензолу использовали аллергосорбентное тестирование с ферментной меткой. Концентрацию интерлейкинов (IL-1 β , IL-6, IL-4, IL-10), интерферона-гамма, фактора некроза опухолей, серотонина, кортизола, T4 свободного определяли иммуноферментным методом на анализаторе Elx808IU (BioTek, США) с помощью коммерческих тест-систем («Вектор-Бест», «Хема», Россия; Aviscera Bioscience Inc., США) согласно методике производителя. Исследование фагоцитарной активности лейкоцитов периферической венозной крови проводили с использованием формализированных эритроцитов барана. Содержание сывороточных иммуноглобулинов (IgG, IgM, IgA) определяли методом радиальной иммунодиффузии по Манчини.

Результаты обрабатывали с использованием программного обеспечения Statistica 10.0 (StatSoft, США). Применяли t-критерий Стьюдента для сравнения групп по количественным признакам. При отклонении от нормального распределения использовали трансформирующую log-трансформацию. Результаты исследования представлены в виде среднего арифметического (M) и ошибки среднего (m). Достоверными считались различия при уровне значимости $p < 0,05$.

Исследования проводили в соответствии со стандартами организации и методическими указаниями.

Результаты и их обсуждение. По результатам химико-аналитических исследований установлено, что группа наблюдения характеризовалась повышенным уровнем ароматических углеводородов (бензол, о-ксилол, п-, м-ксилол и толуол) в крови относительно референтного уровня, тогда как в группе сравнения эти вещества соответствовали референтным значениям (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химико-аналитическое исследование крови на содержание ароматических углеводородов в исследуемых группах

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения	Группа сравнения	P (t)
Бензол (кровь), мкг/см ³	0,0	0,001558 ± 0,000201	0 ± 0	0,00
О-ксилол (кровь), мкг/см ³	0,0	0,007137 ± 0,000839	0 ± 0	0,00
П-, м-ксилол (кровь), мкг/см ³	0,0	0,001138 ± 0,000785	0 ± 0	0,00
Толуол (кровь), мкг/см ³	0,0	0,002634 ± 0,000416	0 ± 0	0,00

П р и м е ч а н и е: $p(t)$ – уровень значимости по критерию t-Стьюдента.

На фоне повышения содержания контаминантов в крови подростков наблюдаются нарушения со стороны показателей иммунной и нейроэндокринной систем (табл. 2).

Так, у 88 % детей из группы наблюдения общее содержание Т-лимфоцитов с мембранным CD3⁺-маркером достоверно снижено по отношению к группе сравнения ($p < 0,05$). Содержание В-лимфоцитов (CD19⁺-лимфоцитов), цитотоксических (CD8⁺) лимфоцитов и Т-хелперов (CD4⁺) также понижено по отношению к группе сравнения.

Анализ относительного и абсолютного числа CD16⁺56⁺-NK-клеток показал, что в группе наблюдения данный показатель статистически значимо выше ($p < 0,05$) в 1,95 и в 1,79 раза соответственно относительно группы сравнения.

В группе наблюдения установлена активация фагоцитарной активности. Содержание сывороточных иммуноглобулинов М и А соответствовало диапазону референтных значений, у 60 % школьников IgM был достоверно выше относительно группы сравнения ($p < 0,05$).

Т а б л и ц а 2

Особенности иммунного и нейроэндокринного профиля обследуемых школьников

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения	Группа сравнения	P (t)
CD3 ⁺ -лимфоциты, отн., %	55–84	59,294 ± 3,057	69,054 ± 1,931	0,00
CD3 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /л	0,69–2,54	1,182 ± 0,149	1,486 ± 0,113	0,002
CD19 ⁺ -лимфоциты, отн., %	6–25	15,529 ± 2,19	15,73 ± 1,786	0,886
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, отн., %	5–27	16,353 ± 1,685	8,378 ± 1,448	0,00

Показатель	Референтный уровень	Группа наблюдения	Группа сравнения	<i>P</i> (<i>t</i>)
CD16 ⁺ 56 ⁺ -лимфоциты, абс., 10 ⁹ /л	0,09–0,59	0,322 ± 0,048	0,18 ± 0,034	0,00
CD3 ⁺ CD4 ⁺ -лимфоциты, отн., %	31–60	34,588 ± 2,948	37,892 ± 1,753	0,05
CD3 ⁺ CD8 ⁺ -лимфоциты, отн., %	13–41	24,118 ± 4,374	25,649 ± 1,867	0,512
Абсолютный фагоцитоз, 10 ⁹ /дм ³	1,000–2,000	1,828 ± 0,241	1,726 ± 0,197	0,52
Процент фагоцитоза, %	35–60	53,151 ± 3,541	51,171 ± 2,817	0,392
Фагоцитарное число, у.е.	0,80–1,20	1,043 ± 0,103	0,975 ± 0,086	0,309
Фагоцитарный индекс, у.е.	1,50–2,00	1,919 ± 0,084	1,882 ± 0,086	0,538
IgM, г/дм ³	1,10–2,50	1,486 ± 0,116	1,233 ± 0,069	0,00
IgA, г/дм ³	1,17–2,20	1,878 ± 0,201	1,692 ± 0,17	0,166
IgG специфический к бензолу, у.е.	0–0,15	0,33 ± 0,069	0,143 ± 0,034	0,00
Интерлейкин-1бета, пг/мл	0–11	1,864 ± 0,661	2,557 ± 1,619	0,43
Интерлейкин-4, пг/мл	0–4	0,867 ± 0,298	1,38 ± 0,697	0,177
Интерлейкин-6, пг/мл	0–10	1,246 ± 0,533	1,609 ± 0,748	0,427
Интерлейкин-10, пг/мл	0–20	6,959 ± 6,337	2,821 ± 0,772	0,183
Интерферон-гамма, пг/мл	0–15	3,094 ± 1,685	1,963 ± 0,257	0,172
Фактор некроза опухолей, пг/мл	0–6	1,943 ± 0,295	1,327 ± 0,29	0,004
Кортизол, нмоль/см ³	140–600	347,573 ± 43,749	283,218 ± 37,412	0,031
Серотонин, нг/мл	40–400	195,488 ± 73,396	285,26 ± 51,171	0,044
T4 свободный, пмоль/л	10–25	15,825 ± 0,609	11,899 ± 0,376	0,00

Примечание: *p* (*t*) – уровень значимости по критерию *t*-Стьюдента.

Установлен достоверно повышенный уровень специфической сенсибилизации к бензолу в группе наблюдения – в 2,31 раза относительно группы сравнения (*p* < 0,05).

Маркеры цитокинового профиля находятся в пределах референтных значений, установлено повышение концентрации провоспалительного интерферон-гамма (в 1,58 раза) и интерлейкина-10 (в 2,47 раза). У 69 % подростков группы наблюдения уровень фактора некроза опухоли достоверно выше по отношению к группе сравнения (*p* < 0,05). При этом обнаружено снижение концентрации интерлейкина-1 бета в 1,37 раза, интерлейкина-4 – в 1,59 раза, интерлейкина-6 – в 1,29 раза относительно группы сравнения, хотя достоверных различий выявить не удалось.

Анализ маркеров функции нейроэндокринной системы показал статистически значимое увеличение свободного тироксина (Т4) и снижение серотонина в сыворотке крови подростков группы наблюдения по отношению к группе сравнения. Содержание гормона гипоталамико-надпочечниковой системы кортизола хотя и находилось в пределах возрастной нормы, но было выше в группе наблюдения относительно группы сравнения (*p* < 0,05).

Таким образом, проведенное обследование подростков, отличающихся избыточным содержанием ароматических углеводов в крови, позволило установить изменения показателей нейроэндокринной и иммунной регуляции, выражающиеся в активации фагоцитарной активности, снижении относительных показателей Т-лимфоцитов, а также их субпопуляций (Т-хелперов и киллерных лимфоцитов). Установлена достоверно повышенная, как по сравнению с нормой, так и по отношению к показателям группы сравнения, специфическая чувствительность к бензолу по критерию IgG. Из маркеров нейроэндокринной регуляции в группе наблюдения выявлено значимое снижение содержания серотонина и повышение концентрации стрессового гормона кортизола и свободного тироксина по отношению к группе сравнения ($p < 0,05$). Установленные особенности иммунного и нейроэндокринного статуса у подростков следует отнести к донозологическим нарушениям гомеостаза и процессов адаптации в условиях избыточной контаминации биосред ароматическими углеводородами, что требует дальнейшего изучения и валидации полученных результатов.

Список литературы

1. Влияние окружающей среды на здоровье детей и подростков в республике Дагестан / Р.О. Османов, З.Т. Мусаева, Б.М. Рамазанова [и др.] // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. – 2015. – № 2 (31). – С. 48–53.
2. Оценка уровней риска неканцерогенных эффектов у подростков в условиях воздействия загрязненного атмосферного воздуха / Э.Р. Валеева, Г.А. Исмагилова, А.И. Зиятдинова // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, 15–16 мая 2019 г. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2019. – С. 394–401.
3. Особенности антиоксидантной системы у подростков Восточной Сибири в зависимости от гендерной и этнической принадлежности / Л.И. Колесникова, Н.А. Курашова, Л.А. Гребенкина [и др.] // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2013. – № 4 (92). – С. 136–140.
4. Оруджев Р.А., Джафарова Р.Э. Особенности токсического действия углеводов нефти на организм человека // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 8–15. DOI: 10.22263/2312-4156.2017.4.8
5. Инверсии биохимических показателей сыворотки крови как предиктор уровня заболеваемости подростков, проживающих в условиях техногенного загрязнения среды Хабаровского края / З.Ю. Билибина, Е.Д. Целых, Г.П. Евсеева [и др.] // Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского. – 2011. – № 1 (36). – С. 22–30.
6. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Тарантин А.В. Нарушения белкового состава крови человека в условиях воздействия ароматических углеводов // Экология человека. – 2013. – № 7. – С. 15–26.

7. Старкова К.Г., Долгих О.В., Легостаева Т.А. Особенности иммунной регуляции у детей с аллергическими заболеваниями в условиях экспозиции ароматическими углеводородами // *Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2022: материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием.* – Пермь, 10–14 октября 2022 г. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2022. – С. 432–437.

8. Выявление омик-маркеров негативных эффектов со стороны нервной системы у детей в условиях сочетанного воздействия аэрогенного химического фактора и условий образовательной среды / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова, Н.И. Булатова // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2020. – Т. 326, № 5. – С. 12–17. DOI: 10.35627/2219-5238/2020-326-5-12-17

9. Иммунологические нарушения у детей в условиях аэрогенной экспозиции бензолом и фенолом / Н.В. Зайцева, О.В. Долгих, Т.В. Нурисламова [и др.] // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2024. – Т. 32, № 11. – С. 41–49. DOI: 10.35627/2219-5238/2024-32-11-41-49

10. Влияние бензола на иммунную систему и некоторые механизмы его действия / И.В. Михайлова, А.И. Смолягин, С.И. Красиков, А.В. Караулов // *Иммунология.* – 2014. – Т. 35, № 1. – С. 51–55.

Оценка средовых факторов в детских и подростковых организациях

Е.А. Рязанова¹, П.Ю. Худорожкова¹, Е.А. Щелчкова²

¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»,

²ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Пермскому краю»,
г. Пермь, Россия

Цель исследования – гигиеническая оценка качества питьевой воды и почвы в детских и подростковых организациях Пермского края за 2019–2023 годы. Плановая проверка детских и подростковых организаций позволила выявить преобладание химического загрязнения питьевой воды над микробиологическим. Высокие значения неудовлетворительных проб связаны с природным составом воды (жесткость) и методами водоподготовки (хлороформ). Единичные случаи превышения ОКБ и *E.Coli* в питьевой воде характеризуют фекальное загрязнение и могут быть обусловлены устареванием распределительной сети. Несоответствие почвы территорий детских организаций по бактериологическим показателям может свидетельствовать о нарушении санитарного содержания территорий. Плановый гигиенический надзор имеет важное значение в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия и сохранении здоровья детского населения.

Ключевые слова: детские и подростковые организации, санитарный надзор, качество питьевой воды, качество почвы, лабораторные исследования.

Укрепление здоровья детей зависит от правильной организации оздоровительно-гигиенических мероприятий в образовательных учреждениях [1]. В настоящее время отмечается тенденция к увеличению частоты и тяжести заболеваний в детском возрасте [2]. Среди причин невысокого уровня здоровья современных детей, наряду с наследственными факторами, можно выделить ухудшающиеся экологические условия и воздействие неблагоприятной эпидемиологической обстановки [3]. Дети в большей степени, нежели взрослые, подвержены воздействию экологических факторов: они употребляют больше воды (в пересчете на массу тела); их восприятие окружающего (любопытство) может привести к воздействию на организм химических соединений, содержащихся в почве [4]. При этом образовательная среда часто не способствует сохранению здоровья детей и подростков [5]. Поэтому необходимо учитывать все риски, возникающие от влияния экологических факторов [6].

Цель исследования – гигиеническая оценка качества питьевой воды и почвы в детских и подростковых организациях Пермского края за 2019–2023 годы.

Материалы и методы. Объектом исследования стали питьевая вода и почва в детских организациях Пермского края. Данные представляли собой результаты санитарного надзора, проведенного ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Пермскому краю» за 2019–2023 годы. Всего было отобрано 2490 проб воды (микробиологические и химические показатели) и 453 пробы почвы (бактериологические, паразитологические и химические показатели). Распределение обследованных объектов по годам представлено в таблице 1.

Таблица 1

Количественное распределение обследованных детских организаций

Год исследования	2019	2020	2021	2022	2023
Количество объектов	425	208	308	404	291

Результаты и их обсуждение. Плановая проверка детских и подростковых организаций включает в себя летнюю оздоровительную кампанию, плановый надзор, социально-гигиенический мониторинг и санитарную экспертизу.

Оценка качества питьевой воды выявила, что во все изучаемые годы наблюдались нарушения по химическому составу (табл. 2). Так, неудовлетворительные пробы по жесткости в 2019 г. составили 17,1 %, в 2020 г. – 7,1 %, в 2021 г. – 16,6 %, в 2022 г. – 2,9 %, в 2023 г. – 12,5 %. В отношении сульфатов наблюдалась положительная динамика: с 41,2 % в 2019 г. до 9,5 % в 2023 г. Железо в воде почти не претерпевало изменений: 2019 г. – 5,7 %, 2021 г. – 4,7 %, 2023 г. – 4,9 %. Все указанные нарушения регистрировались при проверке стационарных загородных оздоровительных организаций. С 2020 года большое количество неудовлетворительных проб приходилось на хлороформ: 2020 г. – 66,7 %, 2021 г. – 50 %, 2022 г. – 66,7 %, 2023 г. – 28,6 %.

Таблица 2

Химический состав питьевой воды в детских организациях
в 2019–2023 гг. (% неудовлетворительных проб)

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Жесткость	17,1	7,1	16,6	2,9	12,5
Общая минерализация	10,5	–	–	–	–
Сульфаты	41,2	2,9	–	–	9,5
Железо	5,7	–	4,3	–	4,9
Хлороформ	–	66,7	50	66,7	28,6
Марганец	–	63,6	42,9	75	–

Оценка микробиологического состава воды детских учреждений не выявила нарушений в 2019 и 2020 годах. В 2021 году общие колиформные бактерии (ОКБ) составили 1,78 % неудовлетворительных проб, в 2022 г. – 0,49 %, в 2023 г. – 0,67 %. E. Coli в 2022 году выявлялись в 0,24 % проб, в 2023 г. – 0,34 % (табл. 3).

Таблица 3

Микробиологический состав питьевой воды в детских организациях
в 2019–2023 гг. (% неудовлетворительных проб)

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
ОКБ	–	–	1,78	0,49	0,67
E. Coli	–	–	–	0,24	0,34
Энтерококки	–	–	–	–	0,34
Общее микробное число	–	–	–	–	0,34

Анализ почвы территорий детских учреждений не выявил нарушений по паразитологическому и химическому составам. Неудовлетворительные пробы по бактериологическому составу отмечались по индексу БГКП и энтерококкам в дошкольных организациях и школах (табл. 4).

Таблица 4

Бактериологические показатели качества почвы в детских организациях
в 2019–2023 гг. (% неудовлетворительных проб)

Показатель	2019	2020	2021	2022	2023
Индекс БГКП	26,2	13,1	–	41,7	–
Энтерококки	9,5	5,9	–	9,5	2,4

Закключение. Таким образом, оценка качества питьевой воды и почвы в детских и подростковых организациях позволила выявить следующие гигиенические проблемы:

1. Преобладание химического загрязнения питьевой воды над микробиологическим. Высокие значения неудовлетворительных проб связаны с природным составом воды (жесткость) и методами водоподготовки (хлороформ).

2. Единичные случаи превышения ОКБ и E.Coli в питьевой воде характеризуют фекальное загрязнение и могут быть обусловлены устареванием распределительной сети.

3. Несоответствие почвы территорий детских организаций по бактериологическим показателям также связано с фекальным загрязнением. Это может свидетельствовать о нарушении санитарного содержания территорий.

Плановый гигиенический надзор имеет важное значение в обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия и сохранении здоровья детского населения.

Список литературы

1. Ляпина С.А., Федотова Г.Г. Оздоровительно-гигиенические мероприятия в дошкольных образовательных учреждениях как фактор повышения здоровья детей // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 2. – С. 12.

2. Состояние здоровья детей и подростков на современном этапе / А.Д. Грязнухина, Л.М. Ахмедова, Д.В. Ладыгина, Е.В. Ненахова // Эпомен: медицинские науки. – 2023. – № 8. – С. 35–46.

3. Онищенко Г.Г., Войнов В.Б. Школьная медицина: актуальность, проблемы и перспективы развития (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 474–481.

4. Разварина И.Н. Влияние экологии городов на здоровье детей дошкольного возраста (по результатам мониторингового исследования) // Социальные аспекты здоровья населения. – 2021. – Т. 67, № 6. – С. 10.

5. Васильев В.В., Перекусихин М.В., Корочкина Ю.В. Влияние экологических и социально-гигиенических факторов на состояние здоровья детей школьного возраста // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 8. – С. 760–764.

6. Влияние основных экологических факторов на здоровье детей: литературный обзор / К.А. Аскараров, Б.С. Имашева, Ж.А. Калмакова, М.С. Имашев // Journal of health development. – 2023. – Т. 3, № 52. – С. 18–26.

Оценка выполнения санитарно-эпидемиологических требований к подбору ученической мебели в общеобразовательных организациях. Оценка возможных рисков развития заболеваний костно-мышечной системы у школьников, связанных с выбором различных типов ученической мебели

А.О. Коркин

Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области в Ленинском, Верх-Исетском, Октябрьском и Кировском районах города Екатеринбурга» (Центральный Екатеринбургский филиал),
ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Свердловской области»,
г. Екатеринбург, Россия

Исследование посвящено оценке соблюдения санитарно-эпидемиологических требований к выбору ученической мебели в общеобразовательных организациях. Основное внимание уделяется оценке рисков развития заболеваний костно-мышечной системы у школьников, связанных с использованием современной пластиковой мебели в сравнении с типовой мебелью. В работе рассматриваются ключевые нормативные документы, методы оценки соответствия мебели антропометрическим данным учащихся, а также предлагаются рекомендации по выбору мебели в школах для профилактики патологий опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: ученическая мебель, санитарно-эпидемиологические требования, костно-мышечная система, школьники, профилактика заболеваний, образовательная среда.

Соблюдение санитарно-эпидемиологических требований к организации учебного процесса в общеобразовательных учреждениях является важным фактором сохранения здоровья школьников. Одним из ключевых аспектов является правильный подбор ученической мебели, соответствующей антропометрическим данным детей. Нарушение требований к размерам мебели может приводить к развитию заболеваний опорно-двигательного аппарата, нарушению осанки и другим патологиям костно-мышечной системы.

Для выявления взаимосвязи между состоянием здоровья школьников и ученической мебелью, используемой в образовательных организациях, проведено исследование в двух школах с разными типами ученической мебели: МАОУ СОШ № 10 (далее – школа) с традиционной деревянной мебелью и МАОУ Гимназия № 120 (далее – гимназия) с пластиковыми регулируемыми стульями. Исследование позволяет выявить, насколько разные типы мебели влияют на здоровье школьников.

Целью проведенной работы являлась комплексная оценка соответствия ученической мебели санитарным требованиям и установление связи между используемой мебелью и здоровьем учащихся (на примере учеников МАОУ СОШ № 10 и МАОУ

Гимназия № 120 города Екатеринбурга), определение рекомендаций по выбору и использованию ученической мебели для сохранения здоровья школьников.

Материалы и методы. Для оценки соответствия ученической мебели, используемой в выбранных образовательных учреждениях, требованиям ГОСТ 5994-93 «Межгосударственный стандарт парты. Типы и функциональные размеры» [3] и ГОСТ 11016-93 «Межгосударственный стандарт стулья ученические. Типы и функциональные размеры» [4] проведены измерения фактических размеров мебели с помощью поверенных приборов в соответствии с методикой, установленной ГОСТ 5994-93 и ГОСТ 11016-93.

С целью оценки состояния здоровья школьников, обучающихся в школе и гимназии, изучены данные, представленные ГАУЗ СО «ДГКБ № 11» по результатам медицинских осмотров (в части заболеваний костно-мышечной системы), проведена обработка данных с использованием методов вариационной статистики. Выполнена возрастная оценка структуры заболеваемости костно-мышечной системы.

В дополнение к объективным данным состояния здоровья учащихся, основанных на результатах медицинского обследования, проведено анкетирование учащихся обоих учебных заведений с целью субъективной оценки удобства мебели и выявления жалоб.

Результаты. Как уже было отмечено, правильная организация ученического места имеет ключевое значение для здоровья и формирования осанки школьников, в том числе, по данным А.А. Баранова и В.Р. Кучмы (2018), неправильная организация рабочего места школьника приводит к статическим перегрузкам опорно-двигательного аппарата, способствуя развитию сколиозов и других деформаций позвоночника [1]. Исследования С.В. Хрущева (2020) показали, что использование не соответствующей росту мебели увеличивает риск развития миофасциальных болевых синдромов на 47 % [2]. Для проведения работы по оценке влияния мебели немаловажно руководствоваться подходящими нормативными документами.

Для проведения оценки соответствия мебели, используемой при организации образовательного процесса в выбранных образовательных учреждениях, использовались ГОСТ 5994-93 «Межгосударственный стандарт парты. Типы и функциональные размеры» [3] и ГОСТ 11016-93 «Межгосударственный стандарт стулья ученические. Типы и функциональные размеры» [4]. Оценивались основные нормативные параметры ученической мебели:

- высота рабочей плоскости (норматив – не менее 640 мм);
- пространство для ног (норматив – глубина не менее 350 мм);
- ширина сиденья (норматив – не менее 320 мм).

Как показали исследования (И.К. Рапопорт, 2022), соблюдение данных параметров обеспечивает физиологически оптимальное положение тела при работе за партой, уменьшая нагрузку на позвоночник на 25–30 % [5]. Несоблюдение данных параметров, как показано в работах А.А. Баранова и В.Р. Кучмы (2018), может приводить к нарушению осанки, быстрой утомляемости и развитию хронических заболеваний [1].

Исследование проводилось на базе двух общеобразовательных учреждений г. Екатеринбурга: МАОУ СОШ № 10 (оснащена традиционной деревянной мебелью) и МАОУ Гимназия № 120 (оснащена пластиковыми регулируемыми стульями и столами).

Вся ученическая мебель имеет сертификаты соответствия. В МАОУ СОШ № 10: Сертификат № ЕАЭС RU C-RU.АЖ.56.В.03648/24 подтверждает соответствие ГОСТ 16371-2014 (мебель для учебных заведений), ГОСТ 22046-2016 (столы ученические), ТР ТС 025/2012 (безопасность мебели). Вывод: мебель соответствует стандартам.

В МАОУ Гимназия № 120: Сертификат № TC RU C-RU.АЯ14.В.00393 подтверждает соответствие ГОСТ 22046-2016, ТО 31.01.12-12313454-02-2017 (технические условия производителя).

Результаты измерений, проведенных поверенным измерительным прибором с соблюдением методики проведения измерения (ГОСТ 5994-93 и ГОСТ 11016-93) для учащихся среднего роста (1500 мм), выявили следующее:

В МАОУ СОШ № 10, оснащенной деревянной учебной мебелью (рис. 1), все измеренные параметры (высота стола, сиденья, ширина рабочей плоскости) в пределах допустимых значений, что соответствует нормам. Однако установлено, что часть мебели некомплектная (используются разные столы и стулья, от разных комплектов).

В МАОУ Гимназия № 120, оснащенной пластиковыми регулируемыми стульями (рис. 2), выявлены несоответствия измеренных параметров ученической мебели: глубина пространства для ног в нижнем положении стула составила 228 мм (при норме ≥ 350 мм), что ниже нормативного значения; в высоком положении – 317 мм, что также ниже нормативного значения; высота рабочей плоскости стола составила 703 мм (при норме не менее 640 мм), а высота сиденья при этом составила 418–498 мм (при норме не менее 380 мм), что при регулировке выходит за допустимые пределы. Регулируемые стулья не обеспечивают стабильное соответствие ГОСТ 5994-93 по ключевым параметрам (высота стола / стула, глубина для ног).



Рис. 1. Мебель МАОУ СОШ № 10

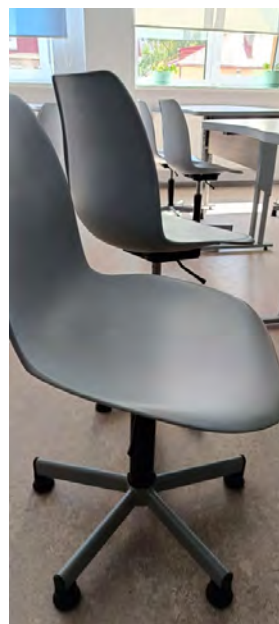


Рис. 2. Мебель МАОУ Гимназия № 120

Согласно исследованиям Е.А. Вишневской (2021), превышение высоты сиденья всего на 20 мм приводит к увеличению давления на межпозвонковые диски на 18 % [6]. Таким образом, выявленные отклонения создают нагрузку на опорно-двигательный аппарат.

Исходя из анализа полученных данных, можно сделать выводы, что в МАОУ СОШ № 10 деревянная мебель соответствует ГОСТ. Жесткая конструкция предотвращает неправильную регулировку, что снижает риски нарушений осанки, однако некомплектная мебель повышает риски нарушений осанки, при использовании разно-размерных комплектов. В МАОУ Гимназия № 120 пластиковые регулируемые стулья имеют системные несоответствия: чрезмерная высота стола (+ 43 мм к нормативному значению) и стула (до +118 мм к нормативному значению) нарушает эргономику посадки. Недостаточная глубина пространства для ног влечет риск сдавливания сосудов и мышц. Таким образом, сертификат соответствия не гарантирует безопасность при самостоятельной регулировке высоты стула учащимися.

Связь между инструментальными измерениями и анализом документации проявляется в том, что полученные данные свидетельствуют о том, что регулируемая мебель не гарантирует соблюдение эргономических норм, что согласуется с выводами, представленными в технической документации производителя (ТУ 31.01.12-12313454-02-2017), которая не обеспечивает полного соответствия ГОСТ 5994-93. Для полноты оценки влияния неправильного подбора мебели необходимо провести ретроспективный анализ заболеваемости в выбранных школах.

Были изучены данные медицинских осмотров, предоставленные ГАУЗ СО «ДГКБ № 11», по заболеваниям костно-мышечной системы учащихся обоих образовательных учреждений за 2022–2024 гг. Статистическая обработка данных проводилась с использованием методов вариационной статистики.

Общая статистика оценивалась по данным хронической заболеваемости: было взято общее число заболеваний за 2022–2024 гг. (M00–M99 (абс. / %); проведен сравнительный анализ по кифозу, лордозу, сколиозу (M40–M41); и учтена статистика по заболеваемости сколиозом (M41, абс. / %) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Общая статистика заболеваемости

Показатель \ Год (ОУ)	2022		2023		2024	
	школа	гимназия	школа	гимназия	школа	гимназия
Всего заболеваний	1304	2519	1532	2855	1708	2302
M00–M99 (абс./%)	258 (19,8 %)	486 (19,3 %)	267 (17,4 %)	597 (20,9 %)	247 (14,5 %)	302 (13,1 %)
M40–M41 (абс./%)	37 (2,8 %)	217 (8,6 %)	89 (5,8 %)	179 (6,3 %)	45 (2,6 %)	30 (1,3 %)
M41 (Сколиоз), (абс./%)	3 (0,2 %)	19 (0,8 %)	25 (1,6 %)	0 (0 %)	7 (0,4 %)	15 (0,7 %)

По итогам оценки установлено, что в гимназии в 2022–2023 гг. зафиксирована более высокая абсолютная заболеваемость (особенно кифозом / лордозом), но в

2024 г. наблюдается резкое снижение. Как отмечает А.Г. Ильин (2019), подобная динамика характерна для образовательных учреждений, осуществляющих переход на новое оборудование без должного инструктажа учащихся [7].

В школе в 2023 г. отмечен пик сколиоза (1,6 %), что требует анализа дополнительных факторов, таких как нагрузка и поддержание осанки во время образовательного процесса.

Для более глубокого изучения заболеваемости проведен анализ возрастной структуры заболеваемости на основе данных медицинских осмотров учащихся (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Возрастная структура заболеваемости

Кифоз, лордоз, сколиоз (М40–М41)				Сколиоз (М41)			
ОУ	Год	10–14 лет	15–17 лет	ОУ	Год	10–14 лет	15–17 лет
Гимназия	2022	31 (3,9 %)	20 (6,5 %)	Гимназия	2022	2 (0,3 %)	5 (1,6 %)
	2024	8 (1,1 %)	10 (3,6 %)		2024	2 (0,3 %)	5 (1,8 %)
Школа	2022	3 (0,6 %)	4 (1,8 %)	Школа	2023	1 (0,2 %)	9 (4,1 %)
	2023	11 (1,9 %)	13 (5,9 %)				

По результатам медицинских осмотров установлено, что в возрастной структуре заболеваемости у учащихся гимназии максимальные показатели в 2022 г. установлены у подростков 10–14 лет (3,9 % М40–М41), но к 2024 г. произошло снижение в 3 раза. А у старшеклассников школы (15–17 лет) стабильно высокие риски сколиоза (пик – 4,1 % в 2023 г.).

Результаты медицинских осмотров и заболеваемости позволяют оценить данные в контексте типа используемой мебели и могут свидетельствовать о том, что в гимназии использование пластиковых регулируемых стульев в 2022–2023 гг. могли способствовать росту патологии костно-мышечной системы учащихся из-за отсутствия фиксации высоты сиденья, несоответствия спинок стульев эргономическим требованиям. Значительное снижение заболеваемости костно-мышечной системы в 2024 г. может быть связано с изменением методики диагностики (отсутствие должного внимания со стороны медицинских работников).

Ситуация в школе свидетельствует о том, что использование деревянной ученической мебели не предотвращает всплеск сколиоза (в 2023 г.), что может указывать на необходимость дополнительного внимания к проверке соответствия мебели ростовым группам и учета других факторов (гиподинамия, нагрузка).

При сравнительном анализе данных по выбранным для исследования учебным заведениям взаимосвязь между инструментальными измерениями ученической мебели и медицинской статистикой становится очевидной: в учреждении с несоответствующей мебелью (гимназия) наблюдались более высокие показатели заболеваемости в течение двух лет, что подтверждает влияние эргономических параметров мебели на здоровье учащихся. По данным ВОЗ (2023), неправильно организованное

рабочее место учащегося является фактором риска в 67 % случаев развития патологии костно-мышечной системы [8].

Для субъективной оценки влияния различных типов мебели на здоровье учащихся и подтверждения вышеприведенных результатов применен социологический (опросный) метод: анонимное анкетирование 50 учащихся из каждого учебного заведения с использованием платформы «Яндекс.Формы». Результаты анализа полученных ответов приведены в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Результаты анонимного анкетирования учащихся

Параметр	Школа	Гимназия
1. Тип используемой мебели		
Деревянный стул и стол	100 %	20 %
Пластиковый стул с регулировкой высоты	0 %	60 %
2. Субъективная оценка удобства мебели для учащихся		
Удобная мебель	90 %	40 %
Неудобная мебель	10 %	60 %
3. Субъективная оценка дискомфорта, связанного с использованием мебели		
Боль в спине и пояснице	10 %	53 %
Дискомфорт из-за высоты стула/парты	0 %	33 %
Отсутствие крючков для сумок	30 %	13 %
4. Наличие цветовой маркировки на учебной мебели		
Наличие маркировки (имеется)	100 %	100 %

По итогам анализа данных анкетирования установлено, что в школе используется только деревянная мебель, соответствующая ГОСТ, в то время как в гимназии преобладают пластиковые регулируемые стулья. В школе с деревянной мебелью комфортность оценивается выше, чем в школе с пластиковыми стульями. В гимназии чаще (на 50 %) встречаются жалобы на боли в спине и отсутствие возможности правильной регулировки мебели, что приводит к нарушению эргономики. Оба образовательных учреждения соблюдают требование к наличию цветовой маркировки мебели по ростовым группам. Анкетирование подтвердило, что использование мебели, не соответствующей нормативным требованиям, повышает риски нарушений опорно-двигательного аппарата.

Единство объективных и субъективных данных проявляется в том, что результаты анкетирования коррелируют с данными инструментальных измерений и медицинской статистики: использование несоответствующей мебели приводит к повышенному дискомфорту и жалобам на боли в спине. Как показали исследования О.Ю. Милушкиной (2022), субъективная оценка комфорта учащимися является важным индикатором эргономического соответствия мебели [9].

Таким образом, проведенная комплексная оценка позволяет перейти к формулированию обобщающих выводов и разработке практических рекомендаций.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что несоответствие ученической мебели установленным требованиям (ГОСТ 5994-93 и ГОСТ 11016-93) увеличивает риски развития заболеваний костно-мышечной системы у школьников.

В МАОУ Гимназия № 120 выявлены значительные отклонения в параметрах пластиковых регулируемых стульев, что коррелирует с более высокой заболеваемостью в 2022–2023 гг. Пластиковые регулируемые стулья в гимназии не обеспечивают стабильное соответствие нормативам, что повышает риски нарушений осанки.

В МАОУ СОШ № 10 деревянная мебель соответствует стандартам, однако всплеск сколиоза в 2023 г. указывает на необходимость учета дополнительных факторов (антропометрические данные учащихся, высокая учебная нагрузка, гиподинамия, отсутствие должного внимания к поддержанию осанки во время учебного процесса). Деревянная мебель в школе соответствует ГОСТ, но требует контроля комплектности.

Оба учебных заведения соблюдают требование к наличию цветовой маркировки, но этого недостаточно для обеспечения эргономичности рабочих мест (необходимо учитывать антропометрические данные учащихся при выборе ученической мебели).

Заболеваемость костно-мышечной системы выше среди учащихся гимназии, особенно среди учеников 10–14 лет.

Анкетирование показало, что учащиеся гимназии чаще испытывают дискомфорт и боли в спине, что связано с неправильной регулировкой мебели. Субъективная оценка комфорта учащимися подтверждает необходимость оптимизации мебели.

На основании комплексного исследования, объединившего нормативный, инструментальный, медицинский и социологический аспекты, можно констатировать, что несоответствие ученической мебели установленным гигиеническим нормативам является значимым фактором риска развития заболеваний костно-мышечной системы у школьников. Интеграция полученных результатов позволяет сформулировать конкретные рекомендации для практического применения.

Рекомендации. Для МАОУ Гимназия № 120 рекомендовано заменить пластиковые регулируемые стулья на модели с фиксированной высотой, соответствующие ГОСТ, обеспечить нанесение цветовой маркировки в соответствии с ростом школьника. При использовании стульев с регулируемой высотой провести обучение персонала и учащихся правильной настройке мебели. Ввести ежегодный контроль соответствия параметров мебели антропометрическим данным.

Для МАОУ СОШ № 10 рекомендовано устранить некомплектность мебели (использовать только парные столы и стулья, соответствующие параметрам маркировки). Организовать мероприятия по профилактике гиподинамии (физкультминутки, динамические паузы).

Для всех образовательных учреждений необходимо разработать программу мониторинга осанки учащихся. Включить в учебный процесс занятия по эргономике рабочего места. Внедрить «эргономичные зоны» в классах с возможностью смены позы (например, высокие столы для работы стоя).

Реализация предложенных рекомендаций будет способствовать созданию безопасной образовательной среды и сохранению здоровья подрастающего поколения.

Список литературы

1. Баранов А.А., Кучма В.Р. Гигиена детей и подростков. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. – 576 с.
2. Хрущев С.В., Зеткина М.В. Профилактика нарушений опорно-двигательного аппарата у детей и подростков. – М.: Медицина, 2020. – 192 с.
3. ГОСТ 5994-93. Межгосударственный стандарт. Парты. Типы и функциональные размеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017609> (дата обращения: 12.06.2025).
4. ГОСТ 11016-93. Межгосударственный стандарт. Стулья ученические. Типы и функциональные размеры. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017611> (дата обращения: 12.06.2025).
5. Рапопорт И.К. Гигиена учебного процесса в современной школе. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. – 224 с.
6. Вишневецкая Е.А. Эргономика учебного пространства. – М.: Инфра-М, 2021. – 210 с.
7. Ильин А.Г., Звездина И.В. Медико-социальные аспекты здоровья школьников. – М.: ПедиатрЪ, 2019. – 276 с.
8. Всемирная организация здравоохранения. Руководство по физической активности, малоподвижному поведению и сну для детей до 5 лет. – Женева: ВОЗ, 2023. – 48 с.
9. Милушкина О.Ю., Скоблина Н.А. Оценка условий обучения и воспитания в образовательных организациях. – М.: Литтерра, 2022. – 192 с.

Реализация комплекса мер регионального уровня, направленных на митигацию рисков избыточной массы тела и ожирения среди детского населения

Г.В. Ласточкина^{1,3}, И.И. Механтьев^{1,2}, Л.А. Масайлова¹, Н.Е. Нехаенко³

¹Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Воронежской области,

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко»,
г. Воронеж, Россия

Приведены результаты межведомственного взаимодействия по оценке фактического питания детей школьного возраста в организованных коллективах Воронежской области за 2019–2024 гг., позволившие реализовать наиболее эффективный сценарий управления ситуацией.

Обозначен вектор реализации комплекса мероприятий регионального уровня по митигации рисков избыточной массы тела и ожирения среди детского и подросткового населения на 2025–2026 гг.

Ключевые слова: мониторинговые мероприятия, межведомственное взаимодействие, избыточная масса тела и ожирение.

В целях снижения рисков нарушений здоровья, обусловленных алиментарным фактором, с 2019 года в субъектах Российской Федерации осуществляется реализация многоуровневой системы мониторинга состояния питания и здоровья различных групп населения, качества пищевой продукции, доступности для населения отечественных пищевых продуктов [1, 4].

Направленность на здоровое питание среди населения обеспечивается, в первую очередь, повышением эффективности организации питания школьников [2–4]. Стратегический ресурс для изучения фактического питания данной категории населения был определён мероприятиями федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» [3, 4].

Результаты оценки фактического питания детей школьного возраста в организованных коллективах на территории Воронежской области показали, что здоровое питание не является выбором в повседневной жизни большинства жителей региона. Среди детского населения распространена проблема избыточной массы тела и ожирения: показатели среди школьников 1–4 классов и 10–11 классов превышали аналогичные показатели по Центральному федеральному округу. Характерна взаимобусловленность проблемы детского ожирения и малообеспеченности семей; среди молодёжи пользуются популярностью услуги сетевых предприятий общественного питания [5].

На протяжении периода реализации проекта (2019–2024 гг.) в субъекте успешно отработан региональный сценарий межведомственного взаимодействия с профильными структурными подразделениями Правительства Воронежской области, в ходе которого разработана «дорожная карта» по реализации мероприятий, направленных на улучшение питания детей школьного возраста и профилактику избыточной массы тела и ожирения у детей в общеобразовательных организациях. В целях «адресной» направленности мер по укреплению здоровья населения в адрес Губернатора Воронежской области представлены «Рекомендации по коррекции рационов питания».

Для решения вопросов качественного, безопасного и здорового питания обучающихся, пропаганды основ здорового питания на территории Воронежской области функционируют общешкольные родительские комитеты, общественные организации и Национальная родительская Ассоциация.

В целях обеспечения школьников горячим питанием реализуются:

- региональный стандарт, предусматривающий максимальный охват учащихся общеобразовательных учреждений 2-разовым горячим питанием, а также трёхкратным питанием при наличии групп продлённого дня;

- губернаторская программа «Школьное молоко», в рамках которой учащиеся 1–9-х классов получают молоко бесплатно.

Во всех общеобразовательных организациях внедрено и реализуется единое примерное меню обучающихся 1–4 классов на основе федерального обеспечения. Кроме того, среди отдельного контингента детей, требующего индивидуального подхода, внедрено примерное меню по 3 видам заболеваний (сахарный диабет, фенилкетонурия, целиакия).

Выполнены мероприятия, позволяющие решить проблему дефицита посадочных мест в обеденных залах школ с превышенной проектной вместимостью.

В целом, реализованный сценарий межведомственного взаимодействия доказал индикативность мониторинговых мероприятий для выявления проблемных вопросов в организации питания школьников в целях разработки корректирующих мероприятий.

Однако проблема распространённости избыточной массы тела и ожирения среди различных возрастных групп населения региона продолжает формировать приоритеты при межведомственном взаимодействии.

Согласно материалам Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году», Воронежская область отнесена к территориям с наиболее высоким уровнем заболеваемости ожирением среди детей в возрасте «0–14 лет» и «15–17 лет», ассоциируемой с нарушением питания [1].

Сегодня в субъекте разработан межведомственный План мероприятий по профилактике избыточной массы тела и ожирения у детей и подростков на 2025–2026 учебный год (далее – План) [6]. В реализацию мероприятий Плана вовлечены три профильных министерства Правительства Воронежской области, Управление Роспотребнадзора по Воронежской области, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России.

Планом предусмотрены три основных направления:

- информационно-коммуникационные мероприятия (анкетирование; информирование, обучение детей, их родителей, медицинского персонала и педагогов по вопросам профилактики избыточной массы тела и ожирения);
- выявление, учёт и коррекция имеющейся патологии (своевременная качественная диагностика заболеваний; формирование целевой группы наблюдения; организация маршрутизации и коррекции выявленной патологии);
- школьное питание (внедрение инновационных подходов).

Основная направленность мероприятий – предупреждение возникновения избыточной массы тела и ожирения среди детского контингента и организация своевременной медицинской помощи детям в Воронежской области.

С 2025 г. пилотный проект реализуется в общеобразовательных учреждениях городского округа город Воронеж и 3 муниципальных районов.

Таким образом, региональный опыт по реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» показал эффективность межведомственного сценария управления ситуацией в целях достижения как оперативного, так и отсроченного результата и обозначил вектор последующих мероприятий субъектового уровня по митигации рисков избыточной массы тела и ожирения среди детского и подросткового населения.

Список литературы

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. – С. 84, 104.
2. Об основных результатах мониторинга питания детей школьного возраста, реализованных в рамках федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» / А.Ю. Попова, И.Г. Шевкун, И.И. Новикова, С.П. Романенко // Вопросы питания. – 2025. – Т. 94, № 1 (557). – С. 64–70. DOI: 10.33029/0042-8833-2025-94-1-64-70
3. Зайцева Н.В., Лир Д.Н. Мониторинг питания в общеобразовательных организациях // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91, № 5 (543). – С. 56–64. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-5-56-64
4. Белова Л.В., Федотова И.М. Реализация задач, поставленных национальным проектом «Демография» по обеспечению качества пищевых продуктов и здорового питания населения // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2022. – Т. 17, № 3. – С. 1041–1048.
5. Масайлова Л.А., Механтьев И.И., Шукелайть А.Б. Региональные подходы к реализации федерального проекта «Укрепление общественного здоровья» национального проекта «Демография» // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения – 2024. – Пермь, 2024. – С. 138–141.
6. Оценка факторов риска избыточной массы тела и ожирения у детей школьного возраста для разработки действенных программ профилактики / И.И. Новикова, С.П. Романенко, М.А. Лобкис, С.М. Гавриш // Science for Education Today. – 2022. – Т. 12, № 3. – С. 132–148.

Оценка фактического питания юных спортсменов-конькобежцев по продуктовому набору

С.А. Горбунова¹, М.А. Шебырева¹, Д.Н. Лир^{1,2}, И.Е. Штина^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е.А. Вагнера»,

²ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В статье представлены результаты оценки фактического питания юных спортсменов по продуктовому набору. Объектом исследования являются дети и подростки в возрасте 12–15 лет, посещающие секцию «конькобежный спорт» на базе Школы олимпийского резерва «Орлёнок». Оценка ежедневного рациона питания спортсменов выполнена

с применением метода 24-часового воспроизведения, в весенне-летний период. Оценка разнообразия и достаточности потребляемых продуктов питания выполнена согласно требованиям СанПиН 2.3/2.4.3590-20.

Установлено, что объемы порций меньше рекомендуемого, а интервалы между приемами пищи превышают 4 часа. В структуре продуктового набора отмечается высокий уровень кондитерских и макаронных изделий, при дефиците овощей, фруктов, молочных продуктов, рыбы и морепродуктов, яиц.

Ключевые слова: питание детей и подростков, питание спортсменов, продуктовый набор, рационы питания, фактическое питание.

Спорт играет важную роль в жизни человека. Конькобежный спорт относится к циклическим видам спорта, сопровождается длительным высоким напряжением и интенсивностью физических нагрузок, что требует расхода большого количества энергии и, как следствие, предъявляет особые требования к рациону питания юных спортсменов.

Воздействие больших физических нагрузок в период активного роста организма детей и подростков обуславливает также более высокую потребность в макро- и микронутриентах, источниками которых являются потребляемые пищевые продукты. Правильное, рациональное питание является основой для поддержания здоровья, достижения высоких результатов и оптимального восстановления после тренировок и в период соревнований [1–3].

Данная статья направлена на оценку фактического питания юных конькобежцев, выявление недостатков и несоответствий в их рационе. Понимание особенностей питания спортсменов поможет не только улучшить их спортивные результаты, но и обеспечить здоровье и благополучие на долгосрочной основе.

Цель – исследовать структуру фактического питания юных спортсменов-конькобежцев на соответствие гигиеническим требованиям, предъявляемым к продуктовому набору.

Материалы и методы. Объектом исследования являются дети и подростки в возрасте 12–15 лет, посещающие секцию «конькобежный спорт» на базе Школы олимпийского резерва «Орлёнок». В выборку включено 8 спортсменов (3 девочки, 5 мальчиков), для каждого из которых представлены индивидуальные недельные рационы (7 дней) за весенне-летний период.

Оценка ежедневного рациона питания спортсменов проведена с применением метода 24-часового воспроизведения с учетом рекомендаций МР «Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания» [4]. Для расчета продуктового набора использованы сборники технологических нормативов, рецептур блюд и кулинарных изделий [5]. Оценка разнообразия, достаточности потребляемых продуктов, а также режима питания выполнена согласно требованиям СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения» [6].

Статистическая обработка результатов исследования проведена с помощью Microsoft Excel. По каждой группе данных вычислялись медианные значения (Me), величина 10 и 90 перцентилей.

Результаты и обсуждение. При оценке режима питания по кратности приемов пищи установлено, что все спортсмены питаются не менее 3 раз в день, при этом

всегда присутствуют основные приемы пищи: завтрак, обед и ужин. Кратность питания у 50 % детей составляет 4–6 раз в день, в течение дня у детей присутствуют перекусы, помимо основных приемов пищи. Суммарные объемы порций по отдельным приемам пищи составили: завтрак – от 235 до 512 г, обед – от 350 до 720 г, ужин – от 320 до 660 г, перекусы – от 50 до 300 г – что не является физиологичным и ниже установленных требований [6]. Завтрак у детей приходится на время с 6:30 до 9:00, обед – с 14:30 до 15:30, ужин – с 19:30 до 21:00. Таким образом, перерывы между основными приемами пищи составляют 5–8 часов, что не является физиологичным для детей. Рекомендуемое время между приемами пищи должно быть не более четырех–пяти часов [7]. Большие перерывы между приемами пищи приводят к появлению чувства голода, более частым перекусам и / или перееданию.

Рационы не отличаются разнообразием, ежедневно присутствуют блюда из курицы, макаронные изделия, бутерброды, кондитерские изделия. На перекус дети часто употребляют покупные йогурты, батончики и шоколад. Вторые блюда (например, плов из свинины, шашлык, гуляш), а также супы повторяются в соседние 2–3 дня, что делает рацион питания однообразным.

Анализ продуктового набора (табл.) выявил, что рационы спортсменов отвечают гигиеническим требованиям по содержанию круп ((51,4 (34,6; 81,1) г соответствует 103 % от рекомендуемого уровня), мяса говядины / свинины ((71,4 (30,7; 129,6) г и соответствует 92 % от рекомендуемого уровня), творога ((58,8 (17,6; 90,2) г, 99 % от рекомендуемого уровня), сыра ((13,8 (7,0; 21,5) г соответствует 92 % от рекомендуемого уровня).

Продуктовый набор фактических рационов спортсменов-конькобежцев (г, %)

Группы продуктов	Фактическое значение, г			СанПиН 2.3/2.4.3590-20	Разница	
	Ме	10 п	90 п		Абс., г	Отн., %
Крупы, бобовые	51,4	34,6	81,1	50	1,4	2,7
Макаронные изделия	28,6	18,1	37,9	20	8,6	43,0
Хлеб пшеничный	26,0	14,7	53,7	200	-174,0	-87,0
Мука пшеничная	25,7	8,6	94,1	20	5,7	28,3
Овощи, зелень	102,2	49,9	144,7	320	-217,9	-68,1
Картофель	55,6	35,6	114,5	187	-131,5	-70,3
Фрукты, ягоды	88,6	32,6	189,6	185	-96,5	-52,1
Сухофрукты	6,1	0,0	14,6	20	-14,0	-69,8
Мясо	71,4	30,7	129,6	78	-6,6	-8,5
Субпродукты	0,0	0,0	3,0	40	-40,0	-100,0
Птица	77,8	45,7	111,7	53	24,8	46,7
Яйца	22,6	2,5	45,5	50	-27,5	-54,9
Рыба и морепродукты	1,8	0,0	35,3	77	-75,2	-97,7
Колбасные изделия	24,6	8,8	64,9			

Группы продуктов	Фактическое значение, г			СанПиН 2.3/2.4.3590-20	Разница	
	Ме	10 п	90 п		Абс., г	Отн., %
Молоко	182,7	128,6	332,3	350	-167,4	-47,8
Кисломолочная продукция	117,7	0,0	233,3	180	-62,3	-34,6
Творог	58,8	17,6	90,2	60	-1,3	-2,1
Сметана	3,6	0,0	10,0	10	-6,4	-64,0
Сыр	13,8	7,0	21,5	15	-1,3	-8,3
Масло сливочное	25,8	13,7	38,4	35	-9,3	-26,4
Масло растительное	6,9	4,2	17,1	18	-11,1	-61,7
Кондитерские изделия	36,2	0,0	84,6	15	21,2	141,0
Сахар	20,3	4,3	38,0	35	-14,8	-42,1
Соль	1,4	0,6	2,3	5	-3,7	-73,0
Сок	28,6	0,0	137,1	200	-171,4	-85,7

По содержанию других продуктов установлено, что недостаток 10–30 % от рекомендуемого уровня имеет масло сливочное (25,8 (13,77; 38,4) г); недостаток в диапазоне 31–50 % – молоко (182,7 (128,6; 332,3) г) и кисломолочная продукция (117,7 (0,0; 233,3) г); недостаток более 50 % имеют следующие группы продуктов: хлеб пшеничный (26,0 (14,7; 53,7) г), овощи и зелень (102,2 (49,9; 144,7) г), картофель (55,6 (35,6; 114,5) г), фрукты (88,6 (32,6; 189,6) г), сухофрукты (6,1 (0,0; 14,6) г), яйца (22,6 (2,5; 45,5) г), сметана (3,6 (0,0; 10,0) г), масло растительное (6,9 (4,2; 17,1) г). Практически полностью отсутствуют в рационе рыба и морепродукты (1,8 (0,0; 35,3) г).

Не соответствуют гигиеническим требованиям, а именно содержатся в избытке на 10–30% мука пшеничная (25,7 (8,6; 94,1) г); 31–50 % – макаронные изделия (28,6 (18,1; 37,9) г), птица (77,8 (45,7; 111,7) г); более 50 % от рекомендуемых норм рациона формируют кондитерские изделия (36,2 (0,0; 84,6) г).

Фактическое содержание основных пищевых веществ в рационах спортсменов раскрыто во второй части исследования. Вместе с тем на данном этапе можно обозначить, что установленный дефицит основных продуктов – источников полноценного животного белка (рыбы, молочных и кисломолочных продуктов, субпродуктов, яиц и др.) может привести к недостатку незаменимых аминокислот и ухудшению восстановления после тренировок, поскольку белки являются основным строительным материалом тела человека и входят в состав мышц, связок, кожи и внутренних органов. Белки также являются катализаторами биохимических процессов в организме, влияют на энергетические и метаболические реакции в клетках; входят в состав гормонов и являются факторами роста [8, 9].

Потребление продуктов, содержащих в значительных количествах легкоусвояемые углеводы, с одной стороны, оправдано для восполнения высоких затрат энергии на физическую активность, но, с другой стороны, может вызвать гипергликемию, которая ведет к раздражению инсулярного аппарата поджелудочной железы и, как следствие, усиленному выбросу гормона в кровь. Систематическое потребление избыточного количества легкоусвояемых углеводов в составе кондитерских изделий

может вызвать истощение инсулярного аппарата, что в дальнейшем ведет к развитию сахарного диабета [10, 11].

Выводы. Таким образом, при анализе фактического питания юных спортсменов-конькобежцев выявлен значительный дефицит ряда биологически ценных продуктов, которые входят в минимальные среднесуточные наборы пищевой продукции в соответствии с СанПиН 2.3/2.4.3590-20 (рыба и морепродукты, овощи, фрукты свежие, молочная и кисломолочная пищевая продукция, яйца, картофель и др.), при одновременном профиците кондитерских и макаронных изделий. При достаточной кратности питания интервалы между приемами пищи превышают 4 часа, объемы порций меньше рекомендуемого.

Данные нарушения фактического питания могут стать фактором риска развития алиментарно-зависимых заболеваний. Поэтому важно проводить на систематической основе профилактические беседы с юными спортсменами и их родителями о необходимости придерживаться полноценного и здорового питания.

Список литературы

1. Методические рекомендации по питанию юных спортсменов [Электронный ресурс] / Д.Б. Никитюк, Ю.В. Мирошникова, Е.А. Бурляева, В.Д. Выборнов, М.Ю. Баландин, К.Т. Тимошенко. – М., 2017. – 134 с. – URL: <https://fcpsr.ru/sites/default/files/2022-05/metod.recomendpitanie.pdf> (дата обращения: 15.08.2025).
2. Хайитов Ж.Б., Бурибоев Э.М., Ниязова О.А. Исследование и оценка фактического питания детей и подростков – спортсменов // Academic research in educational sciences. – 2023. – Т. 4. – С.435–440.
3. Денисова Н.Н., Кешабянц Э.Э., Мартинчик А.Н. Анализ режима питания и продуктовой структуры суточного рациона детей 3–17 лет в Российской Федерации // Вопросы питания. – 2022. – Т. 91, № 4. – С. 54–63. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-4-54-63
4. Методические рекомендации. Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания / утв. председателем профильной комиссии по диетологии Экспертного совета в сфере здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации Главным внештатным специалистом Министерства здравоохранения РФ 01.11.2016 [Электронный ресурс]. – URL: <http://web.ion.ru/files/> (дата обращения: 03.08.2025).
5. Сборник технологических нормативов, рецептур блюд и кулинарных изделий для дошкольных организаций и детских оздоровительных учреждений / Перевалов А.Я., Кашина Е.В., Коровка Л.С. [и др.] / под общ. ред. проф. Перевалова А.Я. – М.: Дели принт, 2021. – 608 с.
6. СанПиН 2.3/2.4.3590-20. Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы [Электронный ресурс]. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 152 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566276706> (дата обращения: 03.08.2025).
7. Кузнецова М.А., Савкина Н.В., Тихомирова Т.А. Правильное питание при занятиях спортом [Электронный ресурс] // Наука. – 2020. – № 4 (29). – С. 61–67.

8. Спортивное питание, эффективность и результативность / И.У. Кусова, А.С. Щепотина, А.Э. Григорян, Ф.Н. Азимов // ТППП АПК. – 2021. – № 1. – С. 50–54. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-1-50-5

9. Антонов И.С., Пальчин К.В. Рациональное питание – одно из средств медико-биологического восстановления спортсменов. – Дудинка, 2024. – С. 12–14.

10. Трибушная М.Е. Гигиеническая оценка рациональности питания спортсменов // International scientific review. – 2024. – № XCIV. – С. 52–55.

11. Принципы организации питания юных спортсменов / Н.В. Рылова, А.С. Самойлов, А.В. Жолинский, С.М. Разинкин, В.Ф. Казаков // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна. – 2025. – № 1 – С. 12–17. DOI: 10.33266/2782-6430-2025-1-12-17

Пищевая и энергетическая ценность рационов питания юных спортсменов-конькобежцев

Д.А. Горб¹, К.А. Левина¹, Д.Н. Лир^{1,2}, С.Л. Валина¹

¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера»,

²ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

В статье представлены результаты оценки фактического питания юных спортсменов по пищевой и энергетической ценности. Объектом исследования являются дети и подростки в возрасте 12–15 лет, посещающие секцию «конькобежный спорт» на базе Школы олимпийского резерва «Орлёнок». Оценка ежедневного рациона питания спортсменов выполнена с применением метода 24-часового воспроизведения в весенне-летний период.

В ходе проведенного исследования нутритивного статуса на индивидуальном уровне среди спортсменов-конькобежцев выявлены нарушения в обеспечении организма основными макро- и микронутриентами. Анализ фактического потребления в сравнении с возрастными физиологическими нормами выявил дисбаланс пищевых веществ, требующий коррекции.

Ключевые слова: питание детей и подростков, питание спортсменов, пищевая ценность, энергетическая ценность, фактическое питание.

Рациональное питание является одним из ключевых факторов, определяющих здоровье, физическое развитие и спортивные достижения детей и подростков, занимающихся спортом. В период активного роста, формирования всех систем организма и активных обменных процессов, происходящих в костной и мышечной ткани, тканях суставов юных спортсменов требуется адекватное потребностям организма обеспечение основными пищевыми веществами [1, 2].

Цель – гигиеническая оценка пищевой и энергетической ценности рационов питания юных спортсменов-конькобежцев.

Материалы и методы. Объектом исследования являются дети и подростки в возрасте 12–15 лет, посещающие секцию «конькобежный спорт» на базе Школы олимпийского резерва «Орлёнок». В выборку включено 8 спортсменов (3 девочки, 5 мальчиков), для каждого из которых представлены индивидуальные недельные рационы (7 дней) за весенне-летний период.

Оценка пищевой и энергетической ценности ежедневного рациона питания спортсменов проведена на основе среднесуточных продуктовых наборов, определение которых выполнено с применением метода 24-часового воспроизведения с учетом рекомендаций МР «Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания» [3]. Данные о химическом составе продуктов были получены из информационно-аналитической системы, базы данных «Химический состав пищевых продуктов, используемых в Российской Федерации», доступной на официальном сайте ФГБОУ «ФИЦ питания и биотехнологии» (http://web.ion.ru/food/FD_tree_grid.aspx). Оценка выполнена согласно МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» [4] (далее – НФП).

Полученные данные обработаны с использованием программы Microsoft Excel с расчетом среднего (М) и стандартного отклонения (σ) для абсолютных и относительных значений.

Результаты и обсуждение. Энергетическая ценность суточных рационов составила в среднем для всех спортсменов $2186,2 \pm 898,0$ ккал, что соответствует $90,0 \pm 37,4$ % от рекомендуемых НФП (2300–2500 ккал с учетом возраста и пола). При индивидуальной оценке выявлен выраженный разброс показателей. Так, у четырех спортсменов калорийность питания была снижена на 35–52 %, у трех спортсменов, напротив, повышена на 15–52 % от НФП. Учитывая повышенные затраты энергии, необходимые для развития выносливости при циклических видах спорта, увеличение калорийности рационов может быть оправдано. Тогда как недостаточная калорийность рациона спортсменов может приводить к снижению общей работоспособности, повышенной утомляемости и замедлению процессов восстановления после физических нагрузок [2].

Общее содержание белка составило $86,3 \pm 30,5$ г, что соответствует $118,2 \pm 41,6$ % от НФП (69–75 г). При этом у отдельных подростков наблюдался избыток (в 1,2–1,8 раза) или дефицит (до 40 %) данного пищевого вещества. Принимая во внимание рекомендации о повышенной потребности в белке, ввиду его необходимости для оптимального роста мышечной ткани, дефицит белка может обуславливать более выраженное негативное влияние на здоровье детей и подростков [5]. Однако неоправданный избыток белка может быть использован для липонеогенеза [1]. Следует также отметить, что животные белки, которые дают более значимый анаболический эффект, поступают в среднем на уровне $63,3 \pm 23,8$ г, что соответствует $144,5 \pm 54,8$ % от НФП (41,4–45 г) и составляют $72,9 \pm 4,7$ % от общего количества белка, что в полной мере отвечает рекомендуемым значениям у всех спортсменов. Несмотря на профицит животных белков, их источником является однообразный набор продуктов (структура которого подробно раскрыта в первой части исследования).

Общее количество жиров составило $105,9 \pm 52,7$ г, что соответствует $130,7 \pm 66$ % от НФП (77–83 г). Избыток поступления жиров в 1,5–2,4 раза установлен для четырех спортсменов (для которых характерно увеличение общих белков), дефицит – для двух (до 51 %). Содержание наиболее полноценных растительных жиров ниже НФП у всех участников исследования и составило $20,2 \pm 12,0$ г ($82,7 \pm 47,9$ % от НФП). Избыток общих жиров в рационе повышает потребности в кислороде, необходимым для окисления жирных кислот, что может усилить напряжение сердечно-сосудистой системы. Вместе с тем значительный дефицит данного пищевого компонента может приводить к снижению энергетической плотности питания, нарушению синтеза стероидных гормонов и усвоения жирорастворимых витаминов (А, D, Е, К) [1].

Содержание углеводов в рационах питания составило $222,1 \pm 85,7$ г, что значительно ниже рекомендуемых НФП (334–363 г) ($63,1 \pm 24,4$ %). При этом в структуре углеводного компонента существенную долю занимают моно- и дисахариды ($145,5 \pm 67,5$ % или $88,3 \pm 41,7$ г); вклад в общую калорийность превышает 10 % (фактический уровень $16,3 \pm 4,4$ %). Тогда как пищевые волокна поступают на уровне $13,2 \pm 2,9$ г, или $65,3 \pm 14,5$ % от НФП (20 г). Избыток углеводов может быть оправдан, поскольку они хорошо покрывают высокие затраты энергии на физическую активность, так как их утилизация характеризуется более высоким уровнем выработки АТФ на единицу массы при низкой потребности кислорода по сравнению с жирами. Однако сочетание дефицита сложных углеводов с избытком простых сахаров является неблагоприятным алиментарным фактором и может приводить к нарушению углеводного обмена, снижению устойчивости к продолжительным физическим нагрузкам и нарушениям восстановления энергетических ресурсов организма. Дефицит углеводов в рационе спортсменов-подростков снижает эффективность гликогенового обеспечения мышц и может способствовать развитию хронической усталости, а также снижению абсолютных и относительных показателей мышечной массы тела [1, 6].

При оценке сбалансированности питания по основным макронутриентам установлено, что вклад белков в энергетическую ценность рационов составил $16,2 \pm 2,2$ % (при НФП 12–15 %), жиров – $42,1 \pm 6,9$ % (при НФП 25–35 %), углеводов – $41,7 \pm 6,6$ % (при НФП 55–60 %).

Минеральный профиль рационов спортсменов-конькобежцев также оказался крайне вариабельным. Уровень кальция составил $861,4 \pm 290,4$ мг, что не соответствует НФП (1200 мг). Значительная вариабельность (от дефицита –20 % до избытка +70 %) указывает на нерегулярность его поступления у разных участников обследования. Дефицит кальция у части подростков представляет риск замедления формирования костной ткани и повышает вероятность травм [7]. Недостаток кальция в рационе может повлиять на нарушение водно-электролитного баланса организма, направленного на возмещение потерь жидкости и минеральных веществ [8].

Фосфор определяется в количестве $1355,3 \pm 471,2$ мг, что в 1,5 раза превышает НФП (900 мг). Несмотря на избыточность, соотношение кальция и фосфора нередко оказывалось неблагоприятным, что снижает эффективность усвоения кальция и неблагоприятно для формирования костной ткани [8].

Содержание витамина С в рационе в среднем составило $115,1 \pm 54,6$ мг, что превышает НФП (60–70 мг), однако, учитывая лабильность данного витамина к воздействию температуры и условиям хранения, потери могут достигать 80 %. Это

может приводить к снижению антиоксидантной защиты организма, повышенной утомляемости, замедлению процессов регенерации и снижению устойчивости к инфекционным заболеваниям [9].

Выводы. Таким образом, гигиеническая оценка пищевой и энергетической ценности рационов питания юных спортсменов-конькобежцев выявила неоправданный избыток белков (в 1,2–1,8 раза) и жиров (в 1,5–2,4 раза) при дефиците углеводов (до 37 %), что обусловило формирование значительного дисбаланса макронутриентов (вклад белков в энергетическую ценность до 16 %, жиров – до 42 %, углеводов – до 42 %).

Установлен дефицит растительных жиров (до 17 %); избыток простых углеводов (до 46 %) при дефиците пищевых волокон (до 35 %); недостаток кальция (до 28 %) в сочетании с избытком фосфора (в 1,5 раза); дефицит витамина С у отдельных детей.

Обоснована необходимость целенаправленной коррекции рационов с целью оптимизации их нутриентного состава и профилактики алиментарно-зависимых заболеваний среди юных спортсменов, создания условий для их гармоничного развития и достижения высоких спортивных результатов.

Список литературы

1. Макарова С.Г., Чумбадзе Т.Р., Поляков С.Д. Особенности питания юных спортсменов, занимающихся циклическими видами спорта // Вопросы современной педиатрии. – 2015. – Т. 14, № 3. – С. 332–340. DOI: 10.15690/vsp.v14i3.1368
2. Методические рекомендации по питанию юных спортсменов [Электронный ресурс] / Д.Б. Никитюк, Ю.В. Мирошникова, Е.А. Бурляева, В.Д. Выборнов, М.Ю. Баландин, К.Т. Тимошенко – М., 2017. – 134 с. – URL: <https://fcpsr.ru/sites/default/files/2022-05/metod.recomendpitanie.pdf> (дата обращения: 15.08.2025).
3. Методические рекомендации. Способ оценки индивидуального потребления пищи методом 24-часового (суточного) воспроизведения питания / утв. председателем профильной комиссии по диетологии Экспертного совета в сфере здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации Главным внештатным специалистом Министерства здравоохранения РФ 01.11.2016. [Электронный ресурс]. – URL: <http://web.ion.ru/files/> (дата обращения: 03.08.2025).
4. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации / Утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 22.07.2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/> (дата обращения: 03.08.2025).
5. Phillips S.M. Protein requirements and supplementation in strength sports // Nutrition. – 2004. – № 20. – Р. 689–695. DOI: 10.1016/j.nut.2004.04.009
6. Сейдалиева Л.Т., Хасанова Н.Р. Особенности питания в различных видах единоборств // ORIENSS. – 2023. – Т. 3, № 4. – С. 820–224.
7. Самороднова Е.А. Дефицит кальция у детей: причины, последствия и возможности профилактических вмешательств // Русский медицинский журнал. – 2022. – Т. 6 (1). – С. 60–67. DOI: 10.32364/2618-8430-2023-6-1-60-67

8. Оценка минерального статуса у юных спортсменов / Н.В. Рылова, Н.А. Трогубова, А.В. Жолинский, А.П. Середя, М.Г. Оганнисян // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2017. – Т. 62, № 5. – С. 175–183. DOI: 10.21508/1027-4065-2017-62-5-175-183

9. Методические рекомендации. Рекомендации по включению в базовый рацион питания высококвалифицированных спортсменов специализированных пищевых продуктов для оптимизации метаболических процессов при сверхвысоких нагрузках [Электронный ресурс]. – М.: ООО «Мультипринт», 2023. – 56 с. – URL: http://web.ion.ru/files/%D0%9C%D0%A0_%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82.pdf (дата обращения: 03.08.2025).

Биоимпедансное исследование состава тела в оценке физического развития учащихся средней общеобразовательной школы

И.Е. Штина, Л.В. Ошева, С.Л. Валина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», г. Пермь, Россия

Обследовано 335 учащихся. У 2/3 школьников рост отвечает физиологическому возрастному нормативу. У девочек-подростков нормальные значения SDS ИМТ регистрировали в 1,4 раза чаще, ожирение – в 6,1 раза реже. Во всех возрастных группах у девочек медиана доли ЖМ была больше в 1,3 раза, у девочек статистически чаще регистрируется «скрытое ожирение», достигая максимума в подростковом возрасте. Установлена прямая связь между SDS ИМТ и долей ЖМ и отрицательная связь между возрастом и долей СММ для детей и подростков обоих полов. У мальчиков с возрастом увеличивается число случаев низких значений доли СММ на фоне возрастания высоких значений доли ЖМ. Выявленные половые-возрастные особенности указывают на необходимость применения биоимпедансного анализа состава тела в медико-профилактической практике.

Ключевые слова: школьники, мальчики, девочки, физическое развитие, антропометрические показатели, биоимпедансный анализ состава тела.

Оценка физического развития, являясь основным компонентом комплексной оценки состояния здоровья детей и подростков¹, осуществляется по значениям

¹ О порядке проведения профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних: Приказ Министерства здравоохранения РФ от 10 августа 2017 г. № 514н (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=345500> (дата обращения: 12.06.2025).

коэффициентов стандартного отклонения (SDS) индекса массы тела (ИМТ) и SDS роста¹. Оценка состояния питания по значению индекса не учитывает компонентный состав тела, что делает ее менее чувствительной и не позволяет выявлять детей с избыточным процентом жира в организме [1]. Оценка физического развития по значению SDS ИМТ (стандартное отклонение индекса массы тела) рекомендована при выполнении эпидемиологических исследований, в то время как биоимпедансный анализ компонентного состава тела является дополнительным углубленным методом, результаты которого можно применять при динамическом контроле компонентного состава тела и в научных исследованиях [2–6].

Цель исследования – сопоставление результатов биоимпедансного исследования состава тела со стандартными параметрами физического развития учащихся средней общеобразовательной школы (СОШ).

Материалы и методы. Проведено одноцентровое одномоментное сравнительное исследование учащихся 1–11-х классов СОШ. Группа исследования № 1 – 165 девочек, группа исследования № 2 – 170 мальчиков с медианой возраста 12 (10; 15) лет для обоих полов ($p = 0,94$). Для установления возрастных особенностей группы были разделены на подгруппы: в первую подгруппу включены 57 девочек и 56 мальчиков в возрасте 7–10 лет, во вторую – 57 девочек и 62 мальчика в возрасте 11–14 лет и в третью – 51 девушка и 52 юноши 15–18 лет. Критерии включения в исследование: обучение в 1–11 классе СОШ, занятия спортом на 1 и 2 этапах спортивной подготовки², наличие информированного согласия на медицинское вмешательство, отсутствие признаков острого инфекционного заболевания и / или признаков обострения хронического заболевания. Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (протокол № 1 от 01.02.2019 г.). Проведено стандартное антропометрическое исследование (измерение роста, массы тела, расчет индекса массы тела)³, биоимпедансный анализ состава тела (ABC-01 «Медасс», Россия) с оценкой содержания доли жировой массы (доля ЖМ, %) и доли скелетно-мышечной массы (доля СММ, %) [7].

Статистическая обработка выполнена с применением пакета функций статистического приложения Jamovi. Сопоставлены значения медиан (Me), 25 и 75 перцентилей возраста, частоты нормальных и отклоненных от нормы значений изучаемых параметров. Выполнена оценка связей между переменными по значению коэффициента Спирмена.

Результаты. Оценка стандартных антропометрических показателей физического развития (рост, ИМТ, SDS роста и SDS ИМТ) показала отсутствие межгрупповых половых различий у детей 7–10 и 11–14 лет и более низкое абсолютное значе-

¹ Оценка физического развития детей и подростков: Письмо Минздрава России от 21.11.2017 № 15-2/10/2-8090 с методическими рекомендациями [Электронный ресурс]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/5/1/metodicheskie-materialy> (дата обращения: 16.05.2023).

² О физической культуре и спорте в Российской Федерации: Федеральный закон от 04.12.2007 № 329-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7303/ (дата обращения: 12.06.2025).

³ Оценка физического развития детей и подростков: Письмо Минздрава России от 21.11.2017 № 15-2/10/2-8090 с методическими рекомендациями [Электронный ресурс]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/5/1/metodicheskie-materialy> (дата обращения: 12.06.2025).

ние роста, ИМТ и SDS ИМТ (в 1,05–7 раз, $p < 0,001$ –0,044) у девушек в возрастной группе 15–18 лет при отсутствии различий в значениях SDS роста ($p = 0,744$). У 2/3 школьников (61,1–66 %) рост отвечает физиологическому возрастному нормативу, статистически значимых межгрупповых различий в структуре результатов оценки роста по значению SDS роста в изучаемых возрастных группах не выявлено ($p = 0,08$ –0,993). Полученные данные согласуются с результатами исследователей, изучавших физическое развитие школьников Екатеринбурга, где нормальный рост регистрировали примерно у 60 %, низкие значения роста – у 10 % обследованных обучающихся [8, 9]. В возрастных группах 7–10 и 11–14 лет в структуре состояния питания по значению SDS ИМТ статистически значимых межгрупповых половых различий не установлено ($p = 0,359$ –0,789). В то же время у девушек в возрастной группе 15–18 лет нормальные значения SDS ИМТ относительно юношей регистрировали в 1,4 раза чаще ($p = 0,012$), а ожирение – в 6,1 раза реже ($p = 0,011$). По данным Грицинской В.Л. с соавторами, изучавшими вопросы эпидемиологии ожирения детей и подростков, ожирение выявлялось чаще также у мальчиков, чем у девочек [10].

Оценка результатов биоимпедансного анализа состава тела показала, что во всех возрастных группах у девочек медиана доли ЖМ была больше в 1,3 раза ($p < 0,001$ –0,003), в возрасте 7–10 лет в 1,9 раза реже регистрировали низкие (менее 25 перцентиля) значения доли ЖМ ($p = 0,036$), а в возрасте 11–14 лет – в 2,2 раза чаще, чем у мальчиков, регистрировали высокие значения доли ЖМ (более 75 перцентиля) ($p = 0,046$), при отсутствии половых различий в структуре результатов по значению доли ЖМ у подростков 15–18 лет. Нормальные значения доли ЖМ регистрировали с близкой частотой ($p = 0,218$ –0,564) во всех возрастных группах.

В ходе корреляционного анализа установлено, что у девочек относительно мальчиков в возрасте 11–14 лет статистически чаще регистрируется «скрытое ожирение» (у 12,2 %, $p = 0,019$), достигая максимума в подростковом возрасте (21,4 %). Дополнительный корреляционный анализ установил прямую связь умеренной силы между SDS ИМТ и долей ЖМ для детей и подростков обоих полов ($r = 0,59$ –0,69; $p < 0,001$). Следует отметить, что при оценке физического развития по SDS ИМТ недостаточность питания выявлена в единичных случаях, а по результатам БИА состава тела низкая доля ЖМ установлена у каждой четвертой–пятой девочки и у каждого третьего мальчика, что указывает на практическое преимущество применения БИА анализа состава тела, учитывая участие жировой ткани в регуляции эндокринного гомеостаза независимо от пола [11–14]. У лиц женского пола не установлено связи между значениями возраста и SDS ИМТ, доли ЖМ, в то время как у лиц мужского пола выявлена прямая связь возраста с долей ЖМ ($r = 0,23$; $p = 0,002$).

У девочек всех возрастных групп относительно мальчиков медиана доли СММ была значимо меньше (в 1,2–1,4 раза, $p < 0,001$) и в 1,3–1,7 раза реже регистрировали высокие значения доли СММ ($p = 0,022$ –0,40). Согласно проведенному исследованию у мальчиков в возрасте 12–13 лет, соответствующем половому созреванию, зарегистрировано максимальное значение доли скелетно-мышечной массы при минимальном содержании доли жировой массы. Полученные результаты совпадают с данными отечественных и зарубежных исследователей [15–17]. Следует отметить, что у мальчиков с возрастом в 7,5 раза увеличивается число случаев низких значений доли СММ (с 3,6 до 26,9 %, $p = 0 < 0,001$) на фоне возрастания в 2 раза высоких значений доли ЖМ

(с 19,6 до 38,5 %; $p = 0,031$). В обеих группах установлена отрицательная связь возраста с долей СММ ($r = -0,29$; $p < 0,001$ – у девочек; $r = -0,25$; $p = 0,001$). Данные настоящего исследования дополняют ранее опубликованные материалы по результатам обследования детей и подростков в 2010–2012 гг. и обращают внимание на более выраженную отрицательную динамику содержания доли СММ у лиц мужского пола, что может быть обусловлено особенностями образа жизни современного школьника.

Полученные данные указывают на важность применения метода БИА состава тела как дополнительного способа оценки состояния физического развития школьников в зависимости от возраста и пола [18, 19, 15]. Установленные тенденции в полово-возрастной изменчивости антропометрических показателей и параметров компонентного состава тела подтверждают необходимость контроля физического развития детей и подростков для своевременного выявления нарушений и их устранения путем расширения информации о ЗОЖ среди учащихся и выбора индивидуальных коррекционно-оздоровительных технологий при проведении уроков физической культуры в школе [3, 19].

Заключение. В результате проведенного анализа половых различий физического развития по значению SDS роста и SDS ИМТ не установлено ($p = 0,057–0,979$). Наличие корреляционной связи между SDS ИМТ и долей ЖМ позволяет использовать SDS ИМТ для мониторинга распространения избытка массы тела и ожирения. Установленные особенности состава тела у детей пубертатного возраста обоих полов указывают на необходимость более широкого применения биоимпедансного анализа в этой возрастной группе. Увеличение доли юношей с ожирением, увеличение доли ЖМ у 25–30 % девочек 7–18 лет, а также снижение доли СММ в возрастном аспекте на фоне установленной обратной корреляции «возраст – доля СММ» диктует необходимость привлечения внимания к проблемам ожирения, гиподинамии и ассоциированных с ними негативных последствий для здоровья.

Список литературы

1. Diagnostic performance of body mass index to identify obesity as defined by body adiposity in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis / A. Javed, M. Jumean, M.H. Murad, D. Okorodudu [et al.] // *Pediatr Obes.* – 2015. – Vol. 10 (3). – P. 234–244. DOI: 10.1111/ijpo.242
2. Диагностическая значимость клинических и инструментальных показателей при ожирении у детей и подростков / Р.М. Ахмедова, Л.В. Софронова, И.П. Корюкина // *Пермский медицинский журнал.* – 2013. – Т. 30, № 4. – С. 67–73.
3. Герасимчик О.А., Гирш Я.В. Композиционный состав тела у детей и подростков с ожирением // *Трансляционная медицина.* – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 51–57. DOI: 10.18705/2311-4495-2019-6-1-51-57
4. Гирш Я.В., Герасимчик О.А. Роль и место биоимпедансного анализа в оценке состава тела детей и подростков с различной массой тела // *Бюллетень сибирской медицины.* – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 121–132. DOI: 10.20538/1682-0363-2018-2-121-132
5. Некоторые аспекты результатов биоимпедансного анализа в рамках ретроспективного лонгитудинального исследования детей школьного возраста г. Смоленска / В.В. Бекезин, Т.В. Дружинина, О.В. Пересецкая [и др.] // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии.* – 2019. – Т. 18, № 3. – С. 183–188.

6. Accuracy and reliability of the InBody 270 multi-frequency body composition analyser in 10-12-year-old children / M.N. Larsen, P. Krstrup, S. AraújoPóvoas, C. Castagna // *PLoS One*. – 2021. – Vol. 16 (3). DOI: 10.1371/journal.pone.0247362
7. Николаев Д.В., Щелькалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека. – М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2016. – 152 с.
8. Распространенность избыточной массы тела и ожирения у детей / А.Н. Мартинчик, К.Э. Лайкам, Н.А. Козырева [и др.] // *Вопросы питания*. – 2022. – Т. 91, № 3(541). – С. 64–72. DOI: 10.33029/0042-8833-2022-91-3-64-72
9. Современные особенности физического развития школьников Екатеринбурга / Л.Л. Липанова, А.С. Бабикова, Г.М. Насыбуллина, О.С. Попова // *Гигиена и санитария*. – 2019. – Т. 98, № 3. – С. 301–307. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-3-301-307
10. К вопросу об эпидемиологии ожирения у детей и подростков (систематический обзор и мета-анализ научных публикаций за 15-летний период) / В.Л. Грицинская, В.П. Новикова, А.И. Хавкин // *Вопросы практической педиатрии*. – 2022. – Т. 17, № 2. – С. 126–135. DOI: 10.20953/1817-7646-2022-2-126-135
11. Литвицкий П.Ф. Патология эндокринной системы. Этиология и патогенез эндокринопатий: нарушения функций щитовидной и паращитовидных желез // *Вопросы современной педиатрии*. – 2012. – Т. 11, № 1. – С. 61–75.
12. Ожирение и половое развитие: эпидемиологическое исследование детей и подростков Московского региона / И.И. Дедов, Г.А. Мельниченко, Т.В. Чеботникова [и др.] // *Ожирение и метаболизм*. – 2006. – Т. 3, № 3. – С. 14–20.
13. Особенности метаболического и пищевого статуса пациенток с функциональной гипоталамической аменореей / Г.Е. Чернуха, Д.В. Гусев, Ю.Б. Москвичева, Г.И. Табеева // *Гинекология*. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 15–18.
14. Устинкина Т.И., Шустов С.Б. Современные представления о нарушениях половой дифференцировки // *Проблемы эндокринологии*. – 2010. – Т. 56, № 1. – С. 57–62.
15. О половом диморфизме роста-весовых показателей и состава тела российских детей и подростков в возрасте 5–18 лет: результаты массового популяционного скрининга / В.И. Стародубов, А.А. Мельников, С.Г. Руднев // *Вестник Российской академии медицинских наук*. – 2017. – Т. 72, № 2. – С. 134–142. DOI: 10.15690/vramn758
16. Reference values of fat mass index and fat-free mass index in healthy Spanish adolescents / T. Durá-Travé, F. Gallinas-Victoriano, M. Malumbres Chacón, P. Moreno González, L. Ahmed-Mohamed, M. Urretavizcaya-Martínez // *Nutr Hosp*. – 2020. – Vol. 37 (5). – P. 902–908. DOI: 10.20960/nh.03161
17. Shypailo R.J., Wong W.W. Fat and fat-free mass index references in children and young adults: assessments along racial and ethnic lines // *Am J Clin Nutr*. – 2020. – Vol. 112 (3). – P. 566–575. DOI: 10.1093/ajcn/nqaa128
18. Физическое развитие, компонентный состав тела и уровень ДГЭА у детей 9-15 лет в период полового созревания / И.В. Ермакова, Т.И. Бурая, Н.Б. Сельверова // *Новые исследования*. – 2013. – № 1 (34). – С. 102–111.
19. Информированность и отношение подростков к здоровому образу жизни / О.М. Филькина, О.Ю. Кочерова, А.И. Малышкина [и др.] // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. – 2022. – Т. 30, № 1. – С. 33–38. DOI: 10.32687/0869-866X-2022-30-1-33-38

Зависимость показателей электрокардиографии покоя от антропометрических данных, возраста и пола у детей и подростков школьного возраста

И.Е. Штина^{1,2}, С.Л. Валина¹, Ю.А. Ивашова¹, А.Д. Штина¹

¹ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. ак. Е.А. Вагнера», г. Пермь, Россия

В настоящее время отсутствуют методические рекомендации по анализу электрокардиограммы у детей и подростков, утверждённые министерством здравоохранения. Обследовано 1097 детей и подростков. Выполнена антропометрия и запись 12-канальной электрокардиограммы. Синусовый ритм регистрировали у 94–95,4 % обследованных детей и подростков. Медиана ЧСС у лиц женского пола статистически выше, чем у мужского ($p < 0,001$). Установлены статистически значимые обратные связи ЧСС с возрастом ($p < 0,001$), полом ($p < 0,001$), абсолютным значением роста, массы тела ($p < 0,001$) и индексом массы тела ($p < 0,001$). Наибольший вклад в значение ЧСС у детей и подростков вносит пол и возраст, что необходимо учитывать при разработке методических рекомендаций по анализу и интерпретации электрокардиограммы покоя.

Ключевые слова: электрокардиография, дети, подростки, пол, возраст, рост.

По данным научной литературы, в последнее десятилетие регистрируется рост первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения среди учащихся средних общеобразовательных школ [1, 2]. По данным Федеральной службы государственной статистики, уровень первичной заболеваемости болезнями системы кровообращения за 2022–2023 гг. у детей в возрасте 0–14 лет составляет порядка 535 случаев, у подростков в возрасте 15–17 лет более чем в 2,56 раза выше – 1400 на 100 тысяч населения аналогичного возраста [3]. Основным скрининговым методом оценки состояния сердечно-сосудистой системы в рамках профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних является электрокардиография покоя [4–6]. Согласно результатам исследований различных авторов, диапазоны частоты сердечных сокращений характеризуются значимым расхождением параметров электрокардиограммы у детей разных возрастов [6]. В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют официальные методические рекомендации по анализу электрокардиограммы у детей и подростков.

Цель исследования – установление зависимости между показателями электрокардиографии покоя и антропометрическими данными, возрастом и полом у детей и подростков школьного возраста.

Материалы и методы. Настоящее исследование выполнено в рамках НИР по теме «Научное обоснование способов диагностики и профилактики у детей заболева-

ний, связанных с особенностями современного образовательного процесса и образа жизни». Всего обследовано 1097 детей и подростков в возрасте 6–17 лет, 548 девочек (50 %) и 549 (50 %) мальчиков ($p = 1,000$) с медианным значением возраста 12 (9; 15) и 11 (9; 14) лет соответственно ($p = 0,150$).

Критерии включения: здоровые дети обоих полов в возрасте 6–17 лет европейской расы, обучающиеся в городских средних общеобразовательных школах, учащиеся, занимающиеся спортом на 1 и 2 этапах спортивной подготовки¹.

Критерии исключения: возраст младше 6 лет, наличие жалоб и данных анамнеза (форма № 026/у–2000 и форма № 112/у), указывающих на обострение хронического заболевания, острое инфекционное заболевание, принадлежность к неевропеоидной расе, занимающиеся спортом выше 2-го этапа спортивной подготовки.

В исследовании применен произвольный способ формирования выборки.

У всех законных представителей детей и подростков получено согласие на обследование и участие в исследовании. Всем детям и подросткам по стандартной методике выполнено измерение роста, массы тела, расчет индекса массы тела и запись 12-канальной электрокардиограммы. Статистическая обработка (расчет медиан и средних значений, сравнение долей методом четырехклеточных таблиц, анализ коэффициента корреляции по Spearman) проведена в приложении Jamovi.

Результаты. Медианное значение частоты сердечных сокращений (ЧСС) у девочек оказалось статистически значимо выше, чем у мальчиков (78 (70; 86) против 75 (66; 82) сокращений в минуту; $p < 0,001$) при наличии связи слабой силы «ЧСС – пол» ($r = -0,15$; $p < 0,001$). У мальчиков продолжительность комплекса QRS (внутрижелудочковое проведение возбуждения) была значимо меньше (0,08 (0,07; 0,08) против 0,08 (0,08; 0,09) сек; $p < 0,001$), длительность интервала QT (электрической систолы желудочков) имела тенденцию к относительно меньшим значениям (0,35 (0,34; 0,37) против 0,36 (0,34; 0,38) сек; $p = 0,064$). Большая ЧСС и меньшая продолжительность комплекса qRS и интервала QT обусловлена различным гормональным влиянием катехоламинов по причине разной активности симпатического отдела ВНС, а также особенностью влияния половых гормонов. В то время как среднее значение угла электрической оси сердца (66 ± 16 и 67 ± 14 град; $r = 0,04$; $p = 0,114$), времени предсердного и атриовентрикулярного проведения, зубца р и интервала PQ, соответственно, были независимы от пола ($r = 0,09$; $p = 0,16–0,35$) и составили $0,07 \pm 0,02$ против $0,08 \pm 0,02$ сек и $0,13 \pm 0,03$ против $0,12 \pm 0,03$ сек.

В результате корреляционного анализа установлены значимые обратные связи умеренной силы «ЧСС – возраст» ($r = -0,37$; $p < 0,001$), «ЧСС – рост» ($r = -0,35$; $p < 0,001$), «ЧСС – масса тела» ($r = -0,31$; $p < 0,001$) и связь слабой силы «ЧСС – индекс массы тела» ($r = -0,18$; $p < 0,001$).

Оценка структуры ритма показала, что более чем в 90 % случаев у обследованных детей и подростков регистрировали синусовый ритм. Суммарно у 0,6 % (7 человек) обследованных были установлены признаки эктопической активности предсердий и желудочков (НЖЭС и ЖЭС). Также выявлены единичные случаи АВ-блокады первой степени (превышение физиологической длительности АВ-проведения)

¹ О физической культуре и спорте в Российской Федерации: Федеральный закон от 04.12.2007 № 329-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_7303/ (дата обращения: 12.06.2025).

в сопоставимых долях у лиц женского и мужского пола (0,55 %; $p = 0,684$). Электрокардиографические признаки неспецифического нарушения проведения по правой ножке пучка Гиса (неполная блокада правой ножки пучка Гиса и феномен наджелудочкового гребешка) в 1,7 раза чаще регистрировали у лиц мужского пола (22,1 против 13,3 %; $p < 0,001$), что обусловлено особенностью гормональной регуляции.

Заключение. В ходе проведенного исследования установлено, что такие параметры, как пол и возраст, оказывают наибольший вклад в значение ЧСС, длительности деполяризации желудочков, а также в значение суммарного времени процессов деполяризации и реполяризации желудочков у детей и подростков школьного возраста.

Список литературы

1. Результаты профилактических медицинских осмотров несовершеннолетних в Российской Федерации / А.А. Баранов, Л.С. Намазова-Баранова, Р.Н. Терлецкая [и др.] // Российский педиатрический журнал. – 2016. – Т. 19, № 5. – С. 287–293. DOI: 10.18821/1560-9561-2016-19(5)-287-293
2. Здоровье детей и подростков в школьном онтогенезе как основа совершенствования системы медицинского обеспечения и санитарно-эпидемиологического благополучия обучающихся / В.Р. Кучма, И.К. Рапопорт, Л.М. Сухарева [и др.] // Здоровоохранение Российской Федерации. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 325–333. DOI: 10.47470/0044-197X-2021-65-4-325-333
3. Здоровоохранение в России. 2023: Стат.сб./ Росстат. – М., 2023. – 179 с.
4. Sensitivity and Specificity of Cutoff Points of Resting Heart Rate from 6,794 Brazilian Adolescents: A Cross-Sectional Study / B.Q. Farah, D.G.D. Christofaro, A. Andrade-Lima, A.H. Germano-Soares, W.R. Tebar, M.V.G. Barros, R.M. Ritti-Dias // Arq Bras Cardiol. – 2021. – Vol. 117(1). – P. 74–81. DOI: 10.36660/abc.20200111
5. Новые нормы и интерпретации детской электрокардиограммы / Л.М. Макаров, И.И. Киселева, В.Н. Комолятова, Н.Н. Федина // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 63–68.
6. Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies / S. Fleming, M. Thompson, R. Stevens, C. Heneghan, A. Plüddemann, I. Maconochie, L. Tarassenko, D. Mant // Lancet. – 2011. – Vol. 377 (9770). – P. 1011–1018. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)62226-X

Раздел V

Современные подходы к профилактике профессиональных заболеваний и укреплению здоровья работающих

Особенности полиморфизма генов детоксикации и иммунной регуляции у работников химической промышленности с хроническим ринитом

Т.С. Ганич

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Исследование посвящено изучению роли полиморфизма гена детоксикации *GSTP1* и гена иммунорегуляции *TLR4* в развитии атопических иммунных процессов у работников с патологией дыхательной системы, подвергающихся хронической экспозиции ПАВ на производстве. У работников с хроническим ринитом, по отношению к условно здоровым, установлены изменения фагоцитарной активности и специфической сенсибилизации к сульфону на фоне повышения частоты вариантных аллелей кандидатных генов *GSTP1* и *TLR4*, полиморфизм которых увеличивает вероятность развития нежелательных событий, таких как патология верхних дыхательных путей с аллергокомпонентом.

Ключевые слова: работники, фагоцитоз, сульфону, *TLR4*, *GSTP1*, IgE специфический.

Современные условия труда химического производства сопряжены с воздействием потенциально вредных соединений, оказывающих отсроченные эффекты в состоянии здоровья работников.

Генетические особенности индивидуумов определяют восприимчивость к неблагоприятному воздействию таких химических факторов, как поверхностно-активные вещества (ПАВ), длительное воздействие которых может отражаться в изменении со стороны иммунной системы.

ПАВ – химические соединения, действие которых связано с эффектом снижения поверхностного натяжения и концентрацией на границах раздела двух сред, что улучшает растекание жидкости, стабилизацию эмульсий и очищение от загрязнения.

Сульфону или алкилбензосульфону натрия является анионным ПАВ, несущим отрицательный заряд, адсорбирующийся на поверхности клеточной мембраны, вследствие чего изменяется заряд и нарушается нормальная жизнедеятельность клетки. ПАВ встраивается в липидный бислой и связывается с мембранными белками, при этом нарушается свойство полупроницаемости мембраны, увеличивается проницаемость для других веществ, нарушается ионный транспорт. При высокой концентрации ПАВ возможен цитолиз клеток [1].

Несмотря на то, что сульфону относится к классу умеренно опасных веществ из группы ПАВ, а его раствор считается безвредным для человека, в аэрозольной форме данное вещество может проникать в дыхательные пути и вызывать раздражение слизистых оболочек.

Сульфону входит в федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ и является широко распространенным компонентом в химической промышленности, при этом сведения о токсических эффектах сульфонула

ограничены и информация о влиянии данного ПАВ на организм человека в современной научной литературе требует уточнений и дополнений.

По результатам экспериментальных исследований на животных рядом авторов были сделаны выводы об аллергенных свойствах сульфанола, вплоть до реакций гиперчувствительности по немедленному типу (анафилактический шок). Введение сульфанола подкожно, перорально и через кожу вызывает реакции по замедленному типу – контактный дерматит. Однократное внутрибрюшное введение сульфанола формирует состояние повышенной чувствительности. Увеличение концентрации до 20–30 % при воздействии на кожу приводит к потере способности формировать состояние повышенной чувствительности [2]. В исследованиях по оценке влияния аэрозоля соды с 2 % сульфанола у экспериментальных животных отмечается утолщение межальвеолярных перегородок, лимфоидная инфильтрация и образование крупных лимфоидных скоплений в легких, а также отмечается усиленный рост и отторжение эпителия бронхов с периваскулярным отеком. Добавление сульфанола в аэрозоль приводило к резорбтивному токсическому эффекту, о чем свидетельствует снижение концентрации эритроцитов крови [3].

Таким образом, на основании ранее проведенных экспериментальных исследований рядом авторов можно сделать вывод о вероятности аллерген-специфичных иммунных эффектов у человека в ответ на экспозицию сульфанола.

Актуальным является поиск риск-ассоциированных генетических факторов, которые связаны с повышенным риском развития сенсibilизации у работников химического производства, подверженных хронической экспозиции ПАВ на примере сульфанола.

Цель исследования – оценить особенности полиморфизма генов детоксикации и иммунорегуляции у работников химической промышленности с хроническим ринитом, ассоциированным с экспозицией сульфанола.

Материалы и методы. Выполнено исследование биосред 54 работников (производство поверхностно-активных веществ) в возрасте от 23 до 66 лет, подвергающихся ингаляционному и контактному воздействию ПАВ. Группу наблюдения составили работники (31 человек) с диагнозом хронический ринит (J31.0) в анамнезе; группу сравнения – 23 условно здоровых работника. Для всех работников выполнена оценка фагоцитарной активности клеток методом по Манчини с использованием формализированных эритроцитов барана. Выполнена оценка специфической сенсibilизации IgE специфический к сульфанола методом ИФА на приборе ELx808 BioTEC. Выполнена оценка полиморфизма генов *TLR4* A8595G rs1927911 и *GSTP1* Ile105Val rs1695 методом ПЦР PB на приборе BioRAD CFX96.

Статистический анализ полученных результатов выполнен в программе Statistica 10.0. Оценивались критерии $\bar{X}$ – среднее, SD – стандартное отклонение. Для номинативных данных генетических исследований использовались критерии: n – число, % – процент, OR – отношение шансов, RR – относительный риск, CI – доверительный интервал. Различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. По результатам сравнительной оценки фагоцитарной активности в исследуемых группах установлено, что группа наблюдения достоверно отличалась пониженным уровнем процента фагоцитоза на 13 %, фагоцитарного числа – на 25 %, фагоцитарного индекса – на 11 % (табл. 1).

Установлено, что в группе наблюдения относительно группы сравнения наблюдался избыточный уровень специфической чувствительности к сульфону (на 19 % выше), при этом класс сенсibilизации оценивался как «низкий», тогда как для группы сравнения класс сенсibilизации соответствовал «нулевому» (табл. 2).

Показано, что у работников группы наблюдения полиморфизм гена *TLR4* A8595G характеризуется повышением частоты вариантного аллеля G в 2,4 раза, при этом аллель выступает как фактор, увеличивающий вероятность нежелательного события, ассоциированного с областью компетенции данного гена, в 1,7 раза. Полиморфизм A8595G гена толл-рецептора *TLR4* преимущественно ассоциирован с развитием atopических и гиперэргических иммунных реакций со стороны дыхательной системы [4].

Установлено, что полиморфизм гена *GSTP1* Ile105Val rs1695 в группе наблюдения характеризуется повышением частоты вариантного аллеля G в 2,0 раза, который выступает как фактор, увеличивающий вероятность нежелательного события, ассоциированного с областью компетенции данного гена, в 1,6 раза (табл. 3). Полиморфизм гена глутатионтрансферазы связан с нарушением процессов детоксикации второй фазы, что в дальнейшем ведет к формированию патологии, сопряженной с топикой действия токсического фактора (например, развитие atopической бронхиальной астмы) [5].

Таблица 1

Сравнительная оценка уровня фагоцитарной активности
у работников исследуемых групп

Показатель, ед. измерения	Норма	Группа наблюдения, $X \pm SD$	Группа сравнения, $X \pm SD$	Достоверность межгрупповых различий (p)
Процент фагоцитоза, %	35–60	$48,29 \pm 6,11$	$54,92 \pm 10,23$	0,0379
Фагоцитарное число, у.е.	0,8–1,2	$0,90 \pm 0,17$	$1,13 \pm 0,27$	0,0091
Фагоцитарный индекс, у.е.	1,5–2,0	$1,84 \pm 0,23$	$2,05 \pm 0,21$	0,0185

Таблица 2

Сравнительная оценка уровня специфической сенсibilизации IgE
к сульфону у работников исследуемых групп

Показатель, ед. измерения	Интерпретация результата			Группа наблюдения ($X \pm SD$)	Группа сравнения ($X \pm SD$)	Достоверность межгрупповых различий (p)
IgE к сульфону МЕ/мл	класс	МЕ/мл	уровень	$0,37 \pm 0,32$	$0,31 \pm 0,13$	0,4034
	4	> 17,5	очень высокий			
	3	3,50–17,50	высокий			
	2	0,7–3,50	умеренный			
	1	0,35–0,7	низкий			
	0	< 0,35	не определяется			

Таблица 3

Аллель-ассоциированная модель развития нежелательного события,
сопряженного с областью компетенции гена

Ген	Аллель	Группа наблюдения, % (n)	Группа сравнения, % (n)	Достоверность межгрупповых различий p	OR (CI)	RR (CI)
TLR4 A8595G rs1927911	A	66,67 (40)	86,11 (31)	0,0356	0,32 (0,11–0,96)	0,77 (0,62–0,97)
	G	33,33 (20)	13,89 (5)		3,10 (1,05–9,19)*	1,72 (1,38–2,14)
GSTP1 Ile105Val rs1695	A	56,67 (34)	77,78 (28)	0,0363	0,37 (0,15–0,95)	0,73 (0,55–0,97)
	G	43,33 (26)	22,22 (8)		2,68 (1,05–6,83)*	1,56 (1,17–2,05)

Примечание: * – аллель – фактор риска.

Таким образом, по результатам проведенного исследования установлено, что работники предприятия химической промышленности, имеющие в анамнезе хронический ринит, характеризуются повышением специфической сенсибилизации к сульфону по критерию IgE, снижением фагоцитарной активности, что на фоне индивидуальной чувствительности в виде наличия вариантной гомозиготы G гена активатора клеточного иммунного ответа *TLR4* и вариантной гомозиготы G гена фактора детоксикации второй фазы *GSTP1* ведет к формированию гиперчувствительности как ответ на экспозицию сульфону.

Выводы:

1. В условиях хронической экспозиции сульфону у работников химического предприятия с диагнозом хронический ринит в анамнезе, в сравнении с условно здоровыми работниками, отмечаются изменения со стороны клеточного иммунного ответа в виде снижения фагоцитарной активности, а также повышение уровня специфической сенсибилизации к сульфону по критерию IgE.

2. Наличие вариантных аллелей G генов детоксикации (*GSTP1*) и иммунорегуляции (*TLR4*), выступающих в качестве факторов риска развития нежелательных событий, ассоциированных с областью компетенции данных генов, в условиях экспозиции сульфону, формирует риск ($RR = 1,6–1,7$) возникновения атопических воспалительных процессов, сопряженных с ПАВ у работников химического предприятия.

Список литературы

1. Поверхностно-активные вещества широкого назначения на основе алкил-толуолов и алкилфенолов / Е.Л. Колычев, А.В. Низовцев, К.А. Овчинников, Е.В. Подлеснова, А.В. Сулимов // НефтеГазоХимия. – 2023. – № 2. – С. 30–33. DOI: 10.24412/2310-8266-2023-2-30-33

2. Сахаров Ю.И., Кутепов Е.Н. Экспериментальное исследование аллергенных свойств сульфанола // Гигиена и санитария. – 1973. – № 3. – С. 45–49.
3. Решетюк А.Л., Шевченко Л.С. О токсичности аэрозолей растворов кальцинированной воды и сульфанола // Гигиена и санитария. – 1968. – № 1. – С. 111–113.
4. Absence of the toll-like receptor 4 gene polymorphisms Asp299Gly and Thr399Ile in Singaporean Chinese / X.H. Liang, W. Cheung, C.K. Heng, D.Y. Wang // Ther. Clin. Risk Manag. – 2005. – Vol. 1, № 3. – P. 243–246.
5. Analysis of the GSTP1 rs1695 polymorphism association with the development of asthma and phenotypic manifestations / M.M. Ziatdinova, Y.V. Valova, A.I. Borisova, A.A. Distanova // J. Asthma. – 2022. – Vol. 59, № 6. – P. 1065–1069. DOI: 10.1080/02770903.2021.1910295

Изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами

Ю.В. Кольдибекова, Д.М. Тетерина

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Сохранение здоровья работающего населения, в первую очередь репродуктивного возраста, является приоритетным направлением государственной политики в области охраны труда и профилактики профессиональной и производственно обусловленной заболеваемости. Цель работы заключается в сравнительном анализе изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами. Среднесменная экспозиция металлами на уровне до 0,2 мг/м³ (до 4 ПДК) обуславливает повышение концентрации до 3,8 раза марганца, меди, никеля, кобальта и хрома в крови работников. Основные типы заболеваний включают радикулопатии, дорсопатии, полиартрозы; полинейропатии; гипертензивную болезнь сердца, ожирение, бронхиальную астму и аллергический ринит. Результаты сравнительного анализа изменения показателей негативных эффектов у работников позволили обосновать ключевые патогенетические механизмы воздействия в виде усиления резорбции костной ткани, дисбаланса нейротрансмиттеров и оксидантно-антиоксидантных процессов, нарушения метаболизма липидов, дисфункции эндотелия сосудов, гормонального дисбаланса, развития специфической сенсибилизации к металлам на фоне лимфопролиферативных процессов, что является необходимым для разработки ранних мер профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: работники горнорудного производства, репродуктивный возраст, металлы, производственная экспозиция, негативные эффекты, лабораторные показатели.

Здоровьесбережение трудоспособного населения, в первую очередь репродуктивного возраста, является приоритетной задачей национальной политики в области охраны труда, включающая в том числе санитарно-гигиенические и лечебно-профилактические мероприятия¹. По данным Федеральной службы государственной статистики, количество занятых в стране на 2023 г. составило 76 037 тыс. человек. При этом наибольший удельный вес численности работников с вредными и (или) опасными условиями труда представлен в группе по добыче металлических руд и составил 71,1 % от общей численности работников [1].

Для горнодобывающих основных профессий, преимущественно подземной разработки месторождений (крепыльщики, бурильщики, машинист погрузочно-доставочной техники, горнорабочие очистного забоя), характерно совместное воздействие на работников длительного и интенсивного шума, повышенного уровня общей и локальной вибрации, значительного количества пылевых частиц в воздухе рабочей зоны и химических веществ, в том числе металлов [2–4]. В состав рудничной пыли, сварочных аэрозолей входят металлы (медь, никель, марганец, хром, кобальт и др.), относящиеся преимущественно к чрезвычайно и высокоопасным (I и II класс). Одновременное воздействие оксидов и соединений данных металлоэлементов в различных сочетаниях на организм работников может обуславливать профессиональные риски развития достаточно широко спектра заболеваний, что детерминировано патогенетическими механизмами их политропного токсического действия [5]. При длительной экспозиции с воздухом рабочей зоны оксидов меди, никеля, марганца (IV), хрома (VI), кобальта к числу критических систем относятся нервная, сердечно-сосудистая и репродуктивная системы, опорно-двигательный аппарат и органы дыхания [6–8].

В связи с вышесказанным при выделении групп риска и планировании комплекса профилактических мероприятий, направленных на предупреждение и снижение негативных последствий со стороны здоровья, целесообразно проводить персональную оценку показателей негативных эффектов у работников репродуктивного возраста, подвергающихся воздействию производственной химической экспозиции, в том числе металлами.

Цель работы – сравнительный анализ изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами.

Материалы и методы. Сравнительная оценка включала скрининговые углубленные исследования здоровья работников репродуктивного возраста в условиях производства по добыче медно-никелевых руд в количестве 103 человека основных

¹ Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 07.04.2025) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения: 23.05.2025).

профессий (горнорабочий очистного забоя, взрывник, бурильщик шпуров, проходчик, крепильщик, машинист погрузочно-доставочных работ, машинист буровой установки). Охвачено 36 человек (мужчины 100 %, возраст 37–49 лет, в среднем $39,5 \pm 0,6$ лет, стаж работы в профессии $13,2 \pm 1,2$ лет) (группа наблюдения). Для проведения сравнительных оценок использовали показатели 67 работников предприятия, деятельность которых не связана с вредными и опасными факторами производственной среды и трудового процесса (группа сравнения мужчины 100 %, возраст 31–49 лет, в среднем $41,2 \pm 0,22$ лет, стаж работы в профессии $14,3 \pm 0,9$ лет). Группы сопоставимы по возрастно-гендерному составу, стажу работы, гигиеническим условиям и социально-экономическому уровню проживания. От каждого обследованного работника получено информированное добровольное согласие на проведение углубленных медицинских исследований. Требования Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 г.) и принципы проведения медицинских исследований с привлечением человека соблюдены.

Сравнительный анализ выполнен по химико-аналитическим, гематологическим, биохимическим, иммунологическим, цитологическим и клиническим показателям. Идентификация и оценка уровня воздействия кобальта, меди, свинца и их неорганических соединений, оксидов никеля, марганца, триоксида хрома (VI) в воздухе рабочей зоны проводились по данным специальной оценки условий труда. Количественное определение массовых концентраций изучаемых металлов в крови выполнено универсальным масс-спектрометрическим методом современной аналитической химии в соответствии с МУК 4.1.3230-14, МУК 4.1.3161-14 на масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies, Inc., США) с учётом оценки значений с показателями группы сравнения и референтными уровнями в отделе химико-аналитических методов исследования (зав. отделом, д.б.н. Т.В. Нурисламова). Всего 618 элементопределений.

Лабораторные показатели негативных эффектов обоснованы исходя из механизмов повреждающего действия повышенных уровней содержания химических загрязнителей в биосредах. Биохимический, гематологический и иммунологический спектр исследований включал IgE общий, эозинофильно-лимфоцитарный индекс, эозинофилы, индекс эозинофилии, IgE к марганцу, IgE к никелю, IgE к хрому, IgG к кобальту, IgG к меди, IgG к кобальту; активность фагоцитоза, Ig A, M, G; малоновый диальдегид (МДА), общую антиоксидантную активность (АОА), гидропероксид липидов; магний, тартрат-резистентная кислая фосфатаза (TRACP), костный глутаминовый белок; катехоламины; показатели общего клинического анализа крови; печёночные трансферазы, общий белок, С-реактивный белок, билирубин общий, щелочную фосфатазу, γ -глутамилтрансферазу, креатинин; липидный профиль, липопротеин(а), оксид азота, соотношение натрия и калия в организме; кортизол; антиспермальные антитела, лютеинизирующий гормон (ЛГ), тестостерон общий и свободный, фолликулостимулирующий гормон (ФСГ). Всего 7519 определений по 73 показателям, выполненных унифицированными методами на автоматическом гематологическом BC-5150 (Mindray, Китай), полуавтоматическом биохимическом Keylab 1000 (Biosed, Италия), иммуноферментном Infinite F50 (Tecan, Австрия) анализаторах, лабораторном микроскопе DM 1000 (Leica Microsystem, Германия) и ана-

лизаторе электролитов крови EasyLyte Calcium (Medica Corp, США). Материалом исследования служили образцы цельной крови, сыворотки, плазмы крови, назального секрета. Результаты оценивали относительно показателей группы сравнения и физиологической нормы [2].

Клинические диагнозы установлены в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения и социального развития РФ «Об утверждении перечня профессиональных заболеваний»¹ и МКБ-10.

Применяли статистические методы и модели для сравнительного анализа показателей негативных эффектов с использованием среды «Statistika 6.0» и пакета «Analysis ToolPak» в MS Excel. Применяли непараметрический критерий Колмогорова-Смирнова для проверки нормальности распределения; параметрический *t*-критерий Стьюдента при заданной значимости $p \leq 0,05$ при сравнении двух независимых выборок; рассчитывали среднюю арифметическую (*M*) и ошибку средней (*m*) для оценки биохимических и иммунологических показателей [9].

Обоснование негативного эффекта и ответа осуществляли установлением достоверных причинно-следственных связей между вероятностью их отклонений от содержания металлов в цельной крови, с помощью уравнения логистической регрессии:

$$P = 1 / (1 + e^{-(b_0 + b_1 y)}), \quad (1)$$

где *P* – вероятность отклонения лабораторного показателя от физиологической нормы (негативный эффект) или вероятность повышения частоты заболевания относительно группы сравнения (ответ);

y – концентрация вещества в крови, мг/дм³;

*b*₀, *b*₁ – параметры регрессионной модели.

В качестве статистического критерия адекватности регрессионных моделей применяли *F*-критерий Фишера ($F > 3,96$), а значимости – критерий Стьюдента ($t \geq 2$) при пороговом уровне $p \leq 0,05$.

Результаты. В рабочей зоне у работников подземной добычи руды установлена среднесменная экспозиция неорганическими соединениями кобальта, меди, свинца, оксидами никеля, марганца, триоксидом хрома (VI) от 0,004 до 0,2 мг/м³ (до 4 ПДК). При этом в их крови выявлено высокое в 1,3–3,4 раза содержание марганца, меди, никеля, кобальта и хрома относительно показателей группы сравнения ($p = 0,0001$ – $0,005$) и превышение в 1,2–6,0 раза уровня кобальта, меди, никеля и хрома относительно референтных значений. Статистически значимых межгрупповых различий содержания свинца в крови не установлено (табл. 1).

¹ Об утверждении перечня профессиональных заболеваний: Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ: Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 417н от 27.04.2012 г. [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: <https://base.garant.ru/70177874/> (дата обращения: 23.05.2025).

Таблица 1

Содержание металлов в цельной крови работников группы наблюдения и сравнения

Вещество	Референтный уровень ¹ , мг/дм ³	Среднее значение ($M \pm m$), мг/дм ³		Статистическая значимость различий показателей между группами, $p \leq 0,05$
		Группа наблюдения	Группа сравнения	
Кобальт	0,0001	0,0006 $\pm$ 0,0001	0,0004 $\pm$ 0,0001	0,005
Марганец	0,01	0,012 $\pm$ 0,001	0,006 $\pm$ 0,001	0,0001
Медь	0,7	0,914 $\pm$ 0,015	0,548 $\pm$ 0,032	0,0001
Никель	0,001	0,0058 $\pm$ 0,0011	0,0015 $\pm$ 0,0003	0,0001
Свинец	0,1	0,126 $\pm$ 0,010	0,112 $\pm$ 0,012	0,097
Хром	0,0007	0,0042 $\pm$ 0,0002	0,002 $\pm$ 0,0006	0,0001

Установлены группы заболеваний, соответствующих органам-мишеням при воздействии токсичных металлов. Так, у работников группы наблюдения зарегистрирована распространенность болезней опорно-двигательного аппарата в виде радикулопатии (M54.1), дорсопатии (M53) и полиартроза (M15), частота которых составила 12,6 %, 10,5 % и 2,8 % соответственно, и болезней нервной системы – полинейропатии (G62) с частотой регистрации до 37,2 % при отсутствии таковых случаев в группе сравнения ($p = 0,0001-0,001$). У работников группы наблюдения выявлялась гипертензивная болезнь (I11), бронхиальная астма (J45.0), аллергические риниты (J30.3), не установленные в группе сравнения ($p = 0,035-0,045$). В распространенности ожирения (E66) установлена достоверная большая частота регистрации (в 13,0 раза) относительно группы сравнения ($p = 0,046$). Установлена зависимость развития болезней костно-мышечной системы и соединительной ткани от концентрации в крови марганца, хрома и кобальта ($R^2 = 0,15-0,87$; $15,94 \leq F \leq 168,96$; $p = 0,0001$), нервной системы от концентрации в крови марганца, никеля и меди ($R^2 = 0,16-0,57$; $19,17 \leq F \leq 152,58$; $p = 0,0001$), органов дыхания ($R^2 = 0,17-0,35$; $15,94 \leq F \leq 152,58$; $p = 0,0001-0,002$), ожирения от уровня в крови марганца и никеля ($R^2 = 0,15-0,25$; $122,43 \leq F \leq 157,95$; $p = 0,0001$), гипертензивной болезни от концентрации марганца, никеля и меди в крови ($R^2 = 0,14-0,42$; $17,83 \leq F \leq 605,37$; $p = 0,0001-0,007$).

Клинические особенности системных проявлений со стороны опорно-двигательного аппарата подтверждаются избыточной костной резорбцией, представленной достоверным повышением в 1,3 раза TRACP в сыворотке крови ($p = 0,0003$) (табл. 2). Установлена причинно-следственная связь между вероятностью повышения уровня данного показателя в сыворотке крови и содержанием в крови кобальта ($R^2 = 0,14$; $b_0 = -0,56$; $b_1 = 18,30$; $F = 15,6$; $p = 0,021$). Основными звеньями патогенеза действия изучаемых металлов на опорно-двигательный аппарат, обусловленного их депонированием в костной ткани, является нарушение процессов биосинтеза и минерализации кости вследствие усиления процесса резорбции [10, 11].

¹ Клиническое руководство по лабораторным тестам / Под ред Н. Тица. – М: Издательство «ЮНИМЕД-пресс», 2003 – 960 с.

Таблица 2

Сравнительный анализ среднегрупповых статистически значимых гематологических, биохимических и иммунологических показателей у работников

Показатель	Физиол. норма	Группа наблюдения	Группа сравнения	Статистическая значимость различий между группами, $p \leq 0,05$	
				средние значения	кратности превышения физиолог. нормы
Антиоксидантная активность плазмы крови, %	36,2–38,6	$30,50 \pm 1,285$	$35,9 \pm 1,12$	0,0001	0,0001
Индекс атерогенности, усл. ед.	1,98–2,51	$3,96 \pm 0,12$	$2,78 \pm 0,13$	0,0001	0,0001
Липопротеин(а), мг/100 см ³	0–14	$11,22 \pm 2,15$	$24,28 \pm 13,50$	0,059	0,130
Малоновый диальдегид плазмы, мкмоль/см ³	1,8–2,5	$2,78 \pm 0,15$	$2,59 \pm 0,11$	0,042	0,218
Холестерин ЛПВП, ммоль/дм ³	1,42–10	$1,16 \pm 0,06$	$1,40 \pm 0,05$	0,0001	0,0001
IgE спец. к марганцу, МЕ/см ³	0–1,21	$0,18 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,012$	0,012	–
IgE спец. к никелю, МЕ/см ³	0–1,55	$0,32 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,01$	0,001	–
IgE спец. к хрому, МЕ/см ³	0–1,01	$0,20 \pm 0,002$	$0,17 \pm 0,01$	0,008	–
IgG спец. к меди, у.е.	0–0,1	$0,15 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,01$	0,001	0,0001
IgG к кобальту, у.е.	0–0,1	$0,13 \pm 0,01$	$0,11 \pm 0,01$	0,005	0,076
Тартрат-резистентная кислая фосфатаза, Е/дм ³	1,25–3,1	$1,40 \pm 0,12$	$1,11 \pm 0,10$	0,003	–
Адреналин, пг/см ³	10–100	$44,00 \pm 3,05$	$75,15 \pm 4,09$	0,0001	–
Дофамин, пг/см ³	10–100	$40,12 \pm 4,28$	$72,10 \pm 5,02$	0,0001	–
Норадреналин, пг/см ³	70–600	$271,02 \pm 22,23$	$379,22 \pm 65,15$	0,002	0,248
VEGF, пг/см ³	10–700	$501,03 \pm 12,12$	$310,22 \pm 85,3$	0,0001	–
Лимфоциты, %	30–34	$36,21 \pm 1,50$	$34,12 \pm 1,14$	0,027	0,005
Эозинофилы, %	0,5–3	$3,32 \pm 0,53$	$2,48 \pm 0,31$	0,007	0,112
Эозинофильно-лимфоцитарный индекс	0,015–0,02	$0,079 \pm 0,012$	$0,062 \pm 0,002$	0,006	0,038
Антиспермальные антитела, Е/куб.см	0–60	0 ± 0	0 ± 0	–	–
ЛГ, мМЕ/куб.см	1,5–9,0	$6,256 \pm 2,493$	$4,319 \pm 1,283$	0,159	0,163
Тестостерон общий, нг/куб.см	1,99–6,05	$5,933 \pm 1,088$	$4,607 \pm 0,627$	0,038	0,017
Тестостерон свободный, нг/куб.см	4,5–42	$13,801 \pm 3,204$	$9,386 \pm 1,603$	0,015	0,924
ФСГ, мМЕ/куб.см	0,8–13	$4,162 \pm 0,916$	$3,987 \pm 0,856$	0,776	–

Большая распространенность болезней нервной системы в виде полиневропатии у работников группы наблюдения подтверждается однонаправленным снижением в 1,7–1,8 раза уровня катехоламинов (адреналина, норадреналина и дофамина) в сыворотке крови относительно аналогичных показателей в группе сравнения ($p = 0,0001–0,002$), что может свидетельствовать об изменении синаптической пластичности [12]. Выявлена причинно-следственная связь между снижением норадреналина и дофамина в сыворотке крови и повышенным уровнем в крови хрома ($R^2 = 0,13–0,22$; $-0,2,60 \leq b_0 \leq -0,54$; $70,65 \leq b_1 \leq 581,55$; $16,81 \leq F \leq 28,28$; $p = 0,0001–0,0002$). Кроме этого, выявлен дисбаланс оксидантно-антиоксидантных процессов, подтверждающийся повышенным уровнем МДА и снижением общей антиоксидантной активности в плазме крови до 1,2 раза относительно данных показателей в группе сравнения ($p = 0,0001–0,042$). Повышенный уровень МДА вероятно связан с содержанием в крови марганца, меди, никеля и хрома ($R^2 = 0,10–0,45$; $-0,95 \leq b_0 \leq -0,14$; $1,42 \leq b_1 \leq 175,85$; $11,79 \leq F \leq 93,48$; $p = 0,0001–0,002$). Ключевыми звеньями патогенеза при действии данных металлов на нервную систему являются прямое повреждение астроцитов и олигодендроцитов, ПОЛ, генерация активных форм кислорода и нарушение нейротрансмиссии в нейронах [7, 12]. В результате происходит замедление проведения нервного импульса, снижение рефлекторной возбудимости, симпатотропные действия, когнитивные расстройства, нейропатия [13].

Лабораторным подтверждением нарушений обмена веществ (в виде ожирения) и гипертензивной болезни является изменение содержания биохимических показателей, характеризующих нарушение обратного транспорта холестерина и ангиогенеза (снижение в сыворотке крови уровня липопротеина высокой плотности (ЛПВП) и липопротеина (а) в 1,2–2,2 раза, повышение индекса атерогенности в 1,4 раза и показателя роста эндотелия сосудов в 1,6 раза, $p = 0,0001–0,059$). Снижение ЛПВП в сыворотке крови, вероятно, обусловлено повышенным содержанием марганца, никеля и кобальта в крови ($R^2 = 0,65–0,66$; $-0,66 \leq b_0 \leq -0,01$; $134,80 \leq b_1 \leq 303,04$; $230,12 \leq F \leq 254,51$; $p = 0,0001$); повышение VEGF – уровнем никеля в крови ($R^2 = 0,19$; $b_0 = -2,41$; $b_1 = 36,96$; $F = 15,45$; $p = 0,0002$). Вазоконстрикторный эффект связан с конкурентоспособностью к ионам кальция отдельных металлов (например, оксида марганца) и с индуцированной генерацией активных форм кислорода, повреждающих эндотелий сосудов. Это приводит к нарушению проницаемости, снижению выработки вазодилаторов, сужению сосудов и уменьшению кровотока в них, снижению сократительной способности, нарушению ритма сердечной проводимости. Значительный рост индекса атерогенности за счет увеличения концентрации как общего холестерина, так и разнонаправленных изменений со стороны его фракций – уменьшения ЛПВП и повышения липопротеина низкой плотности (ЛПНП) [14, 15].

У работников группы наблюдения зарегистрирована достоверно большая распространенность бронхиальной астмы (J45.0). Это проявляется в основном в виде повышенного уровня до 1,3 раза эозинофилов, лимфоцитов и эозинофильно-лимфоцитарного индекса в крови (до 2,1 раза чаще, $p = 0,038–0,005$). Установлена зависимость повышенного уровня эозинофилов от повышенного содержания в крови марганца, никеля и хрома ($R^2 = 0,11–0,56$; $-2,48 \leq b_0 \leq -0,72$; $84,42 \leq b_1 \leq 116,48$; $10,7 \leq F \leq 163,82$; $p = 0,0001–0,002$); уровня лимфоцитов от повышенного содержания в крови меди и хрома ($R^2 = 0,24–0,45$; $-1,64 \leq b_0 \leq -1,21$; $2,85 \leq b_1 \leq 110,51$;

$32,29 \leq F \leq 85,62$; $p = 0,0001$). Данные изменения выявлены на фоне специфической чувствительности организма к экспозиции металлами. Об этом свидетельствует достоверное повышение уровня IgE специфического к марганцу, никелю, хрому до 1,2 раза и IgG специфического к меди и кобальту до 1,4 раза относительно показателей группы сравнения ($p = 0,003-0,045$). Это связано с повышенным уровнем в крови марганца, никеля, хрома, меди и кобальта ($R^2 = 0,12-0,89$; $-4,57 \leq b_0 \leq -0,82$; $43,98 \leq b_1 \leq 301,95$; $5,44 \leq F \leq 605,37$; $p = 0,0001-0,028$). Изучаемые металлы оказывают специфическое сенсибилизирующее действие на организм, реализующееся через образование гаптен-белковых комплексов, которые распознаются иммунной системой как чужеродные, что приводит к выработке специфических антител (например, IgE) и / или активации Т-лимфоцитов [16]. Вследствие длительного взаимодействия последних с гаптен-белковыми комплексами высвобождаются медиаторы воспаления, способные нарушать целостность эпителиального барьера лёгких, снижать регенерацию эпителия альвеолоцитов и др., тем самым приводить к дисрегуляции иммунного ответа местной защиты органов дыхания [17].

Установлен повышенный уровень в 1,3–1,5 раза тестостерона общего и свободного в крови работников группы наблюдения относительно сравнения ($p = 0,015-0,038$). При этом частота регистрации проб с отклонением тестостерона общего у работников производства относительно физиологической нормы составила 47,4 %, что в 3,5 раза выше контроля ($p = 0,017$). Это может свидетельствовать о гормональном дисбалансе и повреждении репродуктивных клеток Лейдига [18].

Заключение. Сравнительный анализ изменения лабораторных показателей крови работников подземной добычи металлических руд свидетельствует, что выявленные у них негативные эффекты и ответы соответствуют критическим системам при воздействии химической производственной экспозиции. Основные негативные ответы у работников с высоким (до 3,8 раза) уровнем в крови марганца, меди, хрома, никеля и кобальта относительно группы сравнения представлены болезнями костно-мышечной системы (дорсопатия, радикулопатия и полиартроз), вегетативной и ЦНС (полинейропатия), нарушениями обмена веществ (преимущественно ожирение), гипертензивной болезнью, болезнью органов дыхания (бронхиальная астма и аллергический ринит). Данные ответы подтверждаются негативными эффектами в виде усиления костной резорбции, нарушения синаптической пластичности, дисбаланса оксидантно-антиоксидантных процессов, дезорганизации обратного транспорта холестерина, дислипидемии, роста фактора эндотелия сосудов, развития специфической сенсибилизации и чувствительности к марганцу, никелю, хрому, меди, кобальту и их соединениям на фоне гормонального дисбаланса. Показатели, характеризующие перечисленные негативные эффекты, у экспонированных работников в 1,2–2,1 раза выше относительно показателей группы сравнения.

На основании полученных результатов обоснованы ключевые звенья патогенетических механизмов воздействия изучаемых металлов, что является необходимым для выявления групп риска и разработки мер ранней профилактики профессиональных и производственно обусловленных заболеваний у работников подземной добычи медно-никелевых руд.

Список литературы

1. Удельный вес численности работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, в организациях Российской Федерации по отдельным видам экономической деятельности [Электронный ресурс]. – URL: http://ssl.rossstat.gov.ru/storage/mediabank/usl_trud1-2023.xlsx (дата обращения: 29.05.2025).
2. Коваленко М.С., Сибилева Е.В. Ресурсный состав Арктики, сложности добычи и перспективы ее развития // Арктика XXI век. Гуманитарные науки. – 2023. – № 1 (31). – С. 26–36. DOI: 10.25587/SVFU.2023.44.59.003
3. Чеботарев А.Г., Семенцова Д.Д. Комплексная оценка условий труда и состояния профессиональной заболеваемости работников горно-металлургических предприятий // Горная промышленность. – 2021. – № 1. – С. 114–119. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-114-119
4. The relationship between psychosocial risk and occupational functioning among miners / A. Moscicka-Teske, J. Sadtowska-Wrzesinska, A. Najder, M. Butlewski // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. – 2019. – Vol. 32 (1). – P. 87–98. DOI: 10.13075/ijomeh.1896.01162
5. In vitro bioaccessibility, phase partitioning, and health risk of potentially toxic elements in dust of an iron mining and industrial complex / N. Soltani, B. Keshavarzi, F. Moore, M. Cave, A. Sorooshian, M.R. Mahmoudi, M.R. Ahmadi, R. Golshani // Ecotoxicol. Environ. Saf. – 2021. – Vol. 212. – P. 111972. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.111972
6. Effects of occupational cadmium exposure on workers' cardiovascular system / Z.R. Cao, S.M. Cui, X.X. Lu, X.M. Chen, X. Yang, J.P. Cui, G.H. Zhang // Zhonghua lao dong wei sheng zhi ye bing za zhi = Zhonghua laodong weisheng zhiyebing zazhi = Chinese journal of industrial hygiene and occupational diseases. – 2018. – № 36 (6). – P. 474–477. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.06.025
7. Neurotoxic effects of aluminum and manganese: From molecular to clinical effects / N.V. Zaitseva, M.A. Zemlyanova, A.B. Gekht, S.I. Dedaev, Yu.V. Kol'dibekova, E.V. Peskova, M.S. Stepankov, A.A. Tinkov, A.C. Martins, A.V. Skalny, M. Aschner // Journal of the Neurological Sciences. – 2025. – Vol. 473. – P. 123480. DOI: 10.1016/j.jns.2025.123480
8. Decline in semen quality among infertile men in Brazil during the past 10 years / E. Jr. Borges, A.S. Setti, D.P. Braga, Rde C. Figueira, A. Iaconelli // Jr.Int Braz J Urol. – 2015. – № 41 (4). – P. 757–463. DOI: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.0186
9. Гланц С. Медико-биологическая статистика / под ред. Н.Е. Бузикашвили и соавт. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
10. Pereira de M.D., Schumacher M., Habibovic P. Cobalt-containing calcium phosphate induces resorption of biomineralized collagen by human osteoclasts // Biomater Res. 2021. – № 25 (6). DOI: 10.1186/s40824-021-00209-7
11. Toxicological Profile for Manganese / I M. Williams, G.D. Todd, N. Roney, J. Crawford, C. Coles, P.R. McClure, J.D. Garey, K. Zaccaria, M. Citra. – Atlanta (GA), 2012.
12. Mechanistic considerations and biomarkers level in nickel-induced neurodegenerative diseases: An updated systematic review / C.P. Anyachor, D.B. Dooka, C.N. Orish, C.N. Amadi, B. Bocca, F. Ruggieri, M. Senofonte, C. Frazzoli, O.E. Orisakwe. IBRO Neurosci Rep. – 2022. – № 31 (13). – P. 136–146. DOI: 10.1016/j.ibneur.2022.07.005

13. Nielsen Depression and anxiety in a manganese-exposed community / B.A. Racette, G. Nelson, W.W. Dlamini, T. Hershey, P. Prathibha, J. R. Turner, H. Checkoway, L. Sheppard, S. Searles // *Neurotoxicology*. – 2021. – Vol. 85. – P. 222–233. DOI: 10.1016/j.neuro.2021.05.017

14. Клиническое руководство по лабораторным тестам / Под ред. Н.У. Тица. – М: ЮНИМЕД-пресс, 2003. – 960 с.

15. Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор) / С.Г. Скугорева, Т. Я. Ашихмина, А.И. Фокина, Е.И. Лялина // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2016. – № 1. – С. 4–13.

16. Основные подходы к диагностике профессиональных аллергических заболеваний в современных условиях // Л.М. Масягутова, Е.Р. Абдрахманова, А.Б. Бакиров, Э.Ф. Габдулвалеева // *Социальные аспекты здоровья населения*. – 2022. Т. 68, № 4. – С. 1–19. DOI: 10.21045/2071-5021-2022-68-4-14

17. Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population / L.V. Veremchuk, E.E. Mineeva, T.I. Vitkina, T.A. Gvozdenko, K. S. Golokhvast // *Russian Open Medical Journal*. – 2017. – № 6. – P. 1–6. – DOI: 10.15275/rusomj.2017.0402

18. Environmental exposure to metals and male reproductive hormones: circulating testosterone is inversely associated with blood molybdenum / J.D. Meeker, M.G. Rossano, B. Protas, V. Padmanahban, M.P. Diamond, E. Puscheck, D. Daly, N. Paneth, J.J. Wirth // *Fertil Steril*. – 2010. – Vol. 93 (1). – P. 130–140. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2008.09.044

Исследование окислительной напряженности крови профессиональных водителей автотранспорта различного возраста и стажа

**Л.В. Полякова, Е.С. Жукова, М.А. Позднякова,
В.В. Шалаганова**

ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский
институт гигиены и профпатологии»,
г. Нижний Новгород, Россия

Водители автотранспорта – одна из массовых профессий в мире, сопряженная с действием на организм работников вредных факторов трудового процесса. Известно, что при этом происходит усиление окислительной нагрузки на организм водителей, что может повышать риск развития профессиональных и производственно обусловленных патологий. Цель исследования – оценка уровня окислительной напряженности плазмы крови у профессиональных водителей автотранспорта разного возраста и стажа. В плазме крови водителей зарегистрирована интенсификация перекисного окисления липидов на фоне адаптивного повышения резистентности белков к окислительным процессам.

Ключевые слова: водители автотранспорта, плазма крови, перекисное окисление липидов, окислительная модификация белков, возраст, стаж.

Транспортный сектор представляет собой одну из ключевых отраслей мировой экономики, обеспечивающую эффективное перемещение пассажиров и грузов. В условиях глобализации и увеличения спроса на транспортные услуги наиболее широкое распространение получил автомобильный транспорт [1]. В связи с этим профессия водителя автотранспорта является одной из самых массовых и востребованных не только по всему миру. Тем не менее, несмотря на высокий спрос и широкое распространение, в России ежегодно растет дефицит водителей. Основными причинами нехватки работников являются тяжелые условия труда и негативное влияние профессии на здоровье. Водители вынуждены постоянно находиться под воздействием шума и вибрации, высоких концентраций токсичных веществ в воздухе рабочей зоны, электромагнитного и инфразвукового излучения [2]. Дополнительно на их здоровье оказывают влияние психо-эмоциональное напряжение, ненормированный график работы, недостаток физической активности, нарушение режима питания и др. [3].

Известно, что негативные факторы производственной среды могут способствовать повышению окислительной нагрузки на организм в связи с увеличением продукции активных форм кислорода (АФК). В нормальных условиях АФК выполняют сигнальную и регуляторную функцию и играют важную роль в жизнедеятельности клеток. Однако гиперпродукция таких высоко реакционноспособных молекул может запустить цепочку окислительных реакций, что может оказывать разрушающее действие на клеточные структуры и приводить к состоянию окислительного стресса [4, 5]. Повышенная окислительная нагрузка на организм водителей автотранспорта может способствовать ослаблению его защитных механизмов и повышению риска возникновения профессиональных и производственно обусловленных заболеваний (преимущественно сердечно-сосудистой, бронхо-легочной, опорно-двигательной и эндокринной систем) [6–8].

Следовательно, регистрация в крови параметров окислительного стресса может быть перспективным направлением исследований в диагностике начальных этапов развития патологических процессов.

Цель исследования – оценка уровня окислительной напряженности плазмы крови у профессиональных водителей автотранспорта разного возраста и стажа.

Материалы и методы. Материалом исследования послужили образцы крови, полученные от 190 мужчин – профессиональных водителей автотранспорта, проходящих обязательный периодический медицинский осмотр на базе ФБУН «Нижегородский НИИ гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора. Обследуемые водители были в возрасте от 20 до 65 лет и имели стаж профессионального вождения от 1 до 30 лет.

Мужчины были разделены на 4 группы сравнения относительно возраста: первая группа – 20–29 лет; вторая – 30–39 лет; третья – 40–49 лет; четвертая – 50–65 лет. Для оценки степени влияния вредных производственных факторов на здоровье водители в возрасте 30–39 и 40–49 лет были разделены на следующие подгруппы

относительно стажа: малостажированные (стаж менее 5 лет), среднестажированные (стаж от 5 до 10 лет) и высокостажированные (стаж более 10 лет). Соответственно, водители в возрасте 20–29 лет имели стаж работы менее 5 лет, а все водители 50–65 лет имели стаж профессионального вождения более 10 лет.

В контрольную группу вошли 87 условно здоровых добровольцев, трудовая деятельность которых не связана со следующими вредными производственными факторами: шум, вибрация, загрязнение воздуха рабочей среды химическими агентами, фиксированная рабочая поза и др. Добровольцы также были разделены на возрастные группы, сопоставимые с водителями автотранспорта.

В плазме крови обследуемых мужчин определяли содержание вторичных метаболитов перекисного окисления липидов (ПОЛ), реагирующих с тиобарбитуровой кислотой – ТБК-активных продуктов. Регистрацию уровня окислительной модификации белков (ОМБ) в плазме крови проводили с применением метода, основанного на реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином (2,4-ДНФГ) с образованием 2,4-динитрофенилгидразонов (альдегид-ДНФГ и кетон-ДНФГ). Регистрировали базальный и металл-индуцируемый уровень окисления [9]. Содержание белка определяли по методу Лоури. Исследования выполняли с использованием спектрофотометра УФ-1200 (TM ECOVIEW, Китай).

Статистическую обработку данных проводили с использованием критерия Данна для множественного сравнения отдельных независимых групп и U-критерия Манна-Уитни для попарного сравнения независимых групп. Так как выборки не соответствовали нормальному распределению по тесту Шапиро-Уилка, данные представлены в виде медианы 25-го и 75-го перцентилей (Me [25 %; 75 %]).

Результаты и обсуждения. В ходе исследования было показано, что изменения окислительной напряженности в плазме крови у профессиональных водителей автотранспорта имеют возрастной и стажевой характер (таблица). Во всех возрастных группах водителей, кроме группы «50–65 лет», наблюдалось повышение ПОЛ в плазме крови в 2–3 раза по сравнению с контрольными группами сопоставимого возраста. Повышение ТБК-активных продуктов у водителей разных возрастных групп, начиная с первых лет трудовой деятельности, свидетельствует об интенсификации окислительных процессов на фоне постоянного воздействия вредных факторов производственной среды [10]. Наряду с этим у водителей старше 50 лет не наблюдалось увеличения ПОЛ в плазме крови. В связи с тем, что отличительной особенностью этой группы водителей является стаж профессионального вождения более 20 лет, можно предположить, что в данной группе прослеживается «эффект здорового рабочего». «Эффект здорового рабочего» представляет собой неорганизованный профессиональный отбор среди работников с повышенной индивидуальной стойкостью к воздействию вредных факторов [11]. При сравнении контрольных групп было выявлено статистически значимое двукратное повышение ТБК-активных продуктов в плазме крови у контроля 40–49 лет по сравнению с контролем 20–29 лет ($p < 0,05$, U-критерий Манна-Уитни). Это свидетельствует о том, что для интенсификации ПОЛ в плазме крови большую роль играют возрастные характеристики.

Возрастные и стажевые особенности окислительной напряженности плазмы крови профессиональных водителей автотранспорта, Me [Q1; Q3]

Группа	Стаж работы	N	ТБК-активные продукты, мкмоль/л	ОМБ (металл-индуцируемое окисление), ед. опт. пл./1 мг белка	
				Альдегид-ДНФГ	Кетон-ДНФГ
20–29 лет	До 5 лет	9	11,0 ^A [8,9; 12,3]	0,46 [0,42; 0,50]	0,50 [0,44; 0,52]
	Контроль	25	3,4 [2,9; 4,5]	0,51 [0,38; 0,57]	0,52 [0,42; 0,60]
30–39 лет	До 5 лет	18	13,7 ^B [10,1; 17,8]	0,42 ^B [0,39; 0,49]	0,48 [0,40; 0,50]
	От 5 до 10 лет	11	9,6 [6,0; 12,5]	0,42 ^B [0,40; 0,47]	0,46 [0,42; 0,48]
	Более 10 лет	13	10,4 ^B [7,2; 16,3]	0,46 [0,38; 0,53]	0,51 [0,43; 0,62]
	Контроль	22	4,1 [3,7; 5,5]	0,52 [0,50; 0,55]	0,53 [0,48; 0,56]
40–49 лет	До 5 лет	27	10,9 ^C [6,4; 15,3]	0,43 ^C [0,40; 0,47]	0,46 [0,42; 0,51]
	От 5 до 10 лет	26	14,6 ^C [11,4; 16,9]	0,43 ^C [0,39; 0,48]	0,48 [0,45; 0,50]
	Более 10 лет	42	7,9 [5,9; 11,6]	0,42 ^C [0,37; 0,50]	0,48 [0,43; 0,53]
	Контроль	20	6,5 ^E [3,4; 7,3]	0,54 [0,45; 0,59]	0,55 [0,48; 0,61]
50–65 лет	Более 10 лет	44	5,0 [4,2; 6,7]	0,39 ^D [0,36; 0,41]	0,49 [0,46; 0,66]
	Контроль	20	4,7 [3,6; 6,2]	0,47 [0,43; 0,49]	0,43 [0,39; 0,59]

Примечание: ^A $p < 0,05$ по сравнению с контролем 20–29 лет, U-критерий Манна-Уитни; ^B $p < 0,01$ по сравнению с контролем 30–39 лет, тест Данна; ^C $p < 0,01$ по сравнению с контролем 40–49 лет, тест Данна; ^C $p < 0,05$ по сравнению с контролем 50–65 лет, U-критерий Манна-Уитни; ^E $p < 0,05$ по сравнению с контролем 20–29 лет, U-критерий Манна-Уитни.

При изучении степени ОМБ в плазме крови проводилось определение уровня базального и металл-индуцируемого окисления карбонильных производных белков. Показатели базального окисления характеризуют общее физиологическое состояние организма, а показатели металл-индуцированного окисления демонстрируют степень потенциального окисления белковых производных. При этом альдегид-ДНФГ отражают ранние процессы фрагментации белковых молекул и начальный этап окислительного стресса, а кетон-ДНФГ представляют собой поздние продукты модификации

белков, свидетельствующие об интенсификации окислительного стресса в организме [12]. При регистрации базального уровня окисления внутри исследуемых групп и между ними не было обнаружено статистически значимых различий. Концентрация окисленных карбонильных остатков белков в обеих возрастных группах водителей и групп сравнения находились на уровнях 0,12 [0,10; 0,16] и 0,16 [0,12; 0,21] для альдегид- и кетон-ДНФГ соответственно. При регистрации металл-индуцируемого окисления белков плазмы крови отмечено повышение альдегид-ДНФГ у водителей 30–39 лет со стажем до 10 лет, у водителей 40–49 лет и 50–65 лет во всех стажевых подгруппах по сравнению с добровольцами сопоставимого возраста. Это свидетельствует об увеличении устойчивости белков плазмы крови профессиональных водителей к окислительным модификациям. Некоторые авторы связывают это с появлением дополнительной антиоксидантной активности белков плазмы крови после их окислительной модификации. Из данных литературы известно, что одним из основных белков плазмы крови, который берет на себя «удар» со стороны свободнорадикальных молекул, является альбумин. В исследовании М.М. Соназурова, А.М. Полимовой и др. (2016) показано, что при воздействии на сывороточный альбумин ультрафиолетового облучения происходило усиление его антиоксидантных свойств [13].

Выводы. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии возрастных и стажевых особенностей уровня окислительной напряженности плазмы крови профессиональных водителей автотранспорта. Значительное повышение уровня ПОЛ у водителей в возрасте от 20 до 49 лет, начиная с первых лет трудовой деятельности, свидетельствует об интенсификации окислительных процессов под воздействием вредных факторов производственной среды и, вероятно, развитии окислительного стресса. Водители старше 50 лет со стажем работы более 20 лет, вероятно, обладают повышенной индивидуальной устойчивостью к воздействию вредных факторов, что может свидетельствовать о феномене «эффект здорового рабочего». Наряду с этим у водителей всех возрастных и стажевых групп зарегистрировано адаптивное повышение устойчивости белков плазмы крови к окислению, что косвенно может свидетельствовать о повышении окислительной напряженности в организме.

Следовательно, дальнейшее изучение особенностей окислительного метаболизма профессиональных водителей автотранспорта является актуальным направлением исследований. Данные рекомендуется учитывать при разработке профилактических мер, направленных на снижение рисков развития профессиональных и производственно обусловленных заболеваний у водителей автотранспорта, а также для других профессиональных групп.

Список литературы

1. Ефименко А.Ю., Хасанов И.Ш. Транспортный сектор экономики европейских стран в современных условиях // Глобальная экономика и образование. – 2023. – Т. 3, № 2. – С. 36–45.
2. Оценка влияния автомобильного движения транспорта на загрязнение урбанизированных территорий / В.Б. Заалишвили, А.С. Канков, К.В. Корбесова // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 135–146.

3. Факторы производственной среды и оценка риска развития профессиональных заболеваний у работников автомобилестроения / Э.Т. Валеева, Р. Р. Галимова, А.А. Дистанова, А.С. Шастин, А.Ф. Саитова // Здоровье населения и среда обитания. – 2024. – Т. 2, № 32. – С. 58–65.

4. Роль окислительного стресса в формировании адаптивных процессов в организме / В.В. Давыдов, А.В. Шестопалов, С.А. Румянцев // Молекулярная медицина. – 2024. – Т. 3, № 22. – С. 10–20.

5. Система антиоксидантной защиты: регуляция метаболических процессов, генетические детерминанты, методы определения / О.А. Никитина, М.А. Даренская, Н.В. Семенова, Л.И. Колесникова // Сибирский научный медицинский журнал. – 2022. – Т. 3, № 42. – С. 1–17.

6. Амелина И.П., Соловьева Э.Ю. Окислительный стресс и воспаление как звенья одной цепи у больных с хроническими цереброваскулярными заболеваниями // Журнал неврологии и психиатрии. – 2019. – № 4. – С. 106–111.

7. Заболеваемость с временной утратой трудоспособности у водителей пассажирского автотранспорта при работе в условиях крупного города / Б.Х. Нушервони, А.Б. Бабаев, Ф.Д. Хасанов, Л.Э. Эркенджанова // Вестник Авиценны. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 222–227.

8. Окислительный стресс и антиоксидантная защита у лиц разного возраста, имеющих контакт с вредными производственными факторами / И.А. Умнягина, Т.В. Блинова, Л.А. Страхова, В.В. Трошин, С.А. Колесов, О.В. Шерстобитова // Анализ риска здоровью. – 2019. – № 3. – С. 104–111.

9. Методы оценки свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы организма: монография / А.В. Арутюнян, Е.Е. Дубинина, Н.Н. Зыбина. – СПб.: Фолиант, 2000. – 104 с.

10. Корчина Т.Я., Кочин В.И. Прогностическая роль показателей окислительного метаболизма и элементного статуса у профессиональных водителей автотранспорта Северного региона // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 4, № 60. – С. 238–243.

11. Трубецков А.Д., Жиров К.С. «Эффект здорового рабочего» в различных областях медицины труда (обзор) // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2021. – Т. 2, № 29. – С. 254–259.

12. Современные представления о патогенезе остеопороза при хроническом лимфолейкозе (обзор литературы) / М.В. Осиков, Е.А. Коробкин, А.А. Федосов, А.В. Синеглазова // Acta Biomedica Scientifica. – 2024. – Т. 4, № 9. – С. 100–107.

13. Изменения в кинетике хемилюминесценции плазмы как мера системного окислительного стресса в организме человека / М.М. Созарукова, А.М. Полимова, Е.В. Проскурнина, Ю.А. Владимиров // Биофизика. – 2016. – Т. 61, № 2. – С. 337–344.

К вопросу оценки профессионального риска при сочетанном воздействии производственных факторов

В.А. Фокин

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

В статье рассматриваются актуальные вопросы оценки профессиональных рисков при сочетанном воздействии вредных производственных факторов. Анализ современных исследований демонстрирует, что существующие методы оценки ориентированы на оценку изолированного воздействия факторов и не всегда учитывают их синергетический характер воздействия, что приводит к недооценке реальных рисков для здоровья работников. Особое внимание уделяется механизмам комбинированного действия шума и вибрации, вызывающим нарушения ЦНС, сердечно-сосудистой системы и слухового анализатора. Подчеркнута необходимость разработки новых методических подходов к количественной оценке профессиональных рисков, учитывающих сочетанный характер воздействия. Исследование основано на анализе данных из авторитетных научных источников, включая PubMed, Scopus и РИНЦ.

Ключевые слова: профессиональные риски, сочетанное воздействие, производственные факторы, профилактика профзаболеваний, условия труда.

Одним из приоритетных направлений государственной политики является сохранение профессионального здоровья и долголетия работающих. В Трудовой кодекс Российской Федерации в 2011 г. введено понятие «профессиональный риск». Профессиональный риск – это прогнозирование не только вероятности частоты возникновения, но и тяжести неблагоприятных реакций со стороны организма работника на воздействие факторов производственной среды и трудового процесса. В современном производстве сохраняются факторы, вызывающие развитие производственно обусловленных заболеваний с умеренными и выраженными проявлениями как следствие неблагоприятных условий труда и поздней диагностики [1]. Это ведет к снижению профессиональной трудоспособности, в том числе у молодого контингента. Воздействие производственных факторов на работающих может проявляться уменьшением продолжительности жизни, ранним старением, увеличением смертности, что определяет актуальность оценки профессионального риска для определенных производств. Для трудоспособного населения важная роль среди факторов, влияющих на здоровье, принадлежит условиям труда. Работники находятся в условиях воздействия вредных и опасных факторов, превышающих гигиенические нормы, и доля таких рабочих мест по отдельным факторам составляет более 60 % [2]. Трудопотери, связанные с временной утратой трудоспособности, в 20–40 % случаев невыходов на работу обусловлены прямым или косвенным влиянием неудовлетворительных условий труда [3].

Целью исследования являлся анализ релевантной научной информации, посвященной проблемам оценки профессионального риска при сочетанном воздействии производственных факторов.

Материалы и методы. Настоящее исследование основано на комплексном анализе данных, извлеченных из авторитетных научных публикаций, представленных в электронных библиотеках Elibrary и CyberLeninka, а также в специализированных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, MEDLINE и RSCI. Основное внимание уделено изучению современных аспектов оценки профессионального риска здоровью работников, находящихся под воздействием производственных факторов на уровне выше гигиенических нормативов.

Результаты и обсуждение. Научные исследования, посвященные изучению сочетанного влияния факторов производственной среды, особо выделяют проблему синергетического взаимодействия между компонентами производственной среды и трудового процесса [4]. Особый интерес представляет анализ совместного воздействия физических факторов производства, среди которых наиболее изучено сочетание шумового и вибрационного воздействия [5, 6]. Характер такого взаимодействия определяется комплексом параметров, включающих частотные характеристики и интенсивность вибрации и шума, а также индивидуальную восприимчивость работника.

Многочисленные исследования подтверждают наличие синергетического эффекта при совместном действии этих факторов, когда совокупное влияние существенно превышает простое суммирование изолированных воздействий. В качестве основных механизмов комбинированного влияния шума и вибрации следует отметить их способность индуцировать стрессовые реакции, снижать когнитивные функции и работоспособность, а также вызывать ускоренное развитие утомления. Подобное сочетание приводит к кумулятивному воздействию на центральную нервную систему, что может проявляться развитием психоэмоциональных расстройств, ухудшением общего состояния и повышением риска возникновения невротических и депрессивных состояний [7].

Вибрационное воздействие способно вызывать вазоконстрикторные реакции, тогда как шумовое воздействие дополнительно нарушает эндотелиальную функцию [8], которая рассматривается в качестве раннего маркера сосудистых нарушений при гипертонической болезни [9]. Учитывая, что эндотелиальная дисфункция признана ключевым предиктором кардиоваскулярной патологии [10], такое комбинированное воздействие может способствовать развитию артериальной гипертензии, ухудшению периферического кровообращения и повышению риска сердечно-сосудистых заболеваний [11].

Отдельную проблему представляет сочетанное влияние на слуховой анализатор. Если шум непосредственно воздействует на звуковоспринимающий аппарат, то вибрация может потенцировать его повреждающее действие, что создает предпосылки для более быстрого развития профессиональной тугоухости [12]. Также заслуживает внимания сочетанное действие вибрации и пониженных температур на состояние периферического кровообращения. Нарушения микроциркуляции в таких условиях приводят к расстройствам болевой и тактильной чувствительности, а также к нарушениям иннервации конечностей [13].

Современные исследования демонстрируют, что даже производственные факторы малой интенсивности при их сочетанном воздействии способны вызывать нарушения метаболических процессов и снижение работоспособности [14]. Особую актуальность эта проблема приобретает в связи с тем, что существующие нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) и уровней (ПДУ) разрабатывались преимущественно для условий изолированного воздействия факторов при стандартных режимах труда и отдыха у условно здоровых работников [15]. Это обуславливает необходимость учета при оценке профессиональных рисков не только факторов, превышающих нормативные значения, но и тех, которые могут потенцировать действие ведущего вредного фактора.

Важным аспектом оценки профессиональных рисков является учет индивидуальных характеристик работников. Исследования в нефтедобывающей отрасли выявили четкую корреляцию между возрастом, профессиональным стажем и частотой развития артериальной гипертензии [16]. При этом у работников с различным стажем отмечаются схожие нарушения: снижение функционального состояния ЦНС, преобладание симпатической регуляции, сниженная вегетативная реактивность, а с увеличением стажа работы – рост числа случаев дезадаптации [17].

Многочисленные исследования подтверждают зависимость характера и частоты болезней, связанных с условиями труда, от специфики профессии, условий труда и продолжительности профессионального стажа [18]. Существующие методики оценки профессиональных рисков, несмотря на их низкую трудозатратность и достаточную достоверность при изолированном воздействии факторов, имеют существенные ограничения при оценке комбинированных воздействий. К основным проблемам относятся: использование данных специальной оценки условий труда, которые не всегда содержат информацию о реальных уровнях воздействия; применение интегральных показателей, не всегда позволяющих оценить вклад отдельных факторов при их совместном действии; отсутствие унифицированных подходов к количественной оценке рисков при комбинированных воздействиях. В связи с этим существует насущная потребность в разработке унифицированных методических подходов к оценке профессиональных рисков при сочетанном воздействии производственных факторов, учитывающих количественные характеристики уровней воздействия; имеющиеся данные о механизмах действия факторов на организм; особенности влияния на критические органы и системы при развитии болезней, связанных с условиями труда.

Заключение. Современный уровень условий труда в промышленности характеризуется высоким уровнем технологий, вместе с тем при выполнении ряда технологических процессов сохраняется воздействие тяжести труда, шума и вибрации, химических факторов трудового процесса, влияние неблагоприятных параметров микроклимата. Указанные факторы способны приводить к запуску патогенетических механизмов формирования болезней, связанных с условиями труда. При оценке риска необходимо учитывать весь комплекс неблагоприятных факторов, воздействующих на состояние здоровья, таких как воздействие производственной среды, трудового процесса и, по возможности, образа жизни.

Определение уровней профессионального риска позволяет на основе прогноза формирования вероятности определенных заболеваний разрабатывать профилакти-

ческие мероприятия. Вместе с тем на настоящем этапе отсутствуют унифицированные механизмы количественной оценки профессионального риска при сочетанном воздействии производственных факторов, что обуславливает актуальность разработки и применения количественной оценки профессионального риска при сочетанном воздействии производственных факторов, которые могут быть положены в основу мероприятий по сохранению здоровья, а также комплекса мер по улучшению условий труда работающих.

Список литературы

1. Оценка профессионального риска нарушений здоровья у работников предприятий нефтедобычи / Д.М. Шляпников [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 5–3. – С. 687–690.
2. Жидких В.П., Золотухина Ю.Ю. Экологические аспекты условий и охраны труда как фактор эффективности производства // Вестник Воронежского института экономики и социального управления. – 2017. – № 1. – С. 25–28.
3. Современное состояние условий труда резинотехнического производства / А.М. Рахметова [и др.] // Вестник Казахского Национального медицинского университета. – 2020. – № 1. – С. 430–433.
4. Заболотских В.В., Васильев А.В., Терещенко Ю.П. Синергетические эффекты при одновременном воздействии физических и химических факторов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 5 (2). – С. 290–295.
5. Пакулев М.В., Федотов Я.О., Рыбин В.А. Влияние шума и вибраций на человека и окружающую среду // Наука и безопасность. – 2015. – Т. 3. – С. 2–7.
6. Основные аспекты оценки виброакустических факторов / Н.Х. Абдрахманов, А.В. Федосов, А.Н. Хамитова, И.И. Бадртдинова, Г.Л. Матузов // Безопасность техногенных и природных систем. – 2021. – № 3. – С. 13–22.
7. Влияние сочетанного воздействия шума и вибрации на уровни гормонов стресса и поведенческие реакции животных / В.Е. Крийт, Ю.Н. Сладкова, В.Л. Рейнюк, А.О. Пятибрат // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 8. – С. 904–909.
8. Park S. Role of Inflammation in the Pathogenesis of Arterial Stiffness // Yonsei Med. J. – 2012. – Vol. 53, № 2. – P. 258–261.
9. Коррекция эндотелиальной дисфункции: современное состояние проблемы (обзор литературы) // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2012. – № 4. – С. 151–157.
10. Hedner T. Endothelial Dysfunction—A Challenge for Hypertension Research // Blood Pressure. – 2000. – Vol. 9. – P. 2–3.
11. Мелентьев А.В., Серебряков П.В., Жеглова А.В. Влияние шума и вибрации на нервную регуляцию сердца // Медицина труда и промышленная экология. – 2018. – № 9. – С. 19–23.
12. Чеботарёв А.Г., Курьеров Н.Н. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий // Горная промышленность. – 2020. – № 1. – С. 148–153.

13. Состояние периферического кровообращения у работающих в условиях охлаждающего микроклимата на предприятиях горно-промышленного комплекса арктической зоны Российской Федерации / Б.А. Скрипаль, А.Н. Никанов, И.В. Новицкий, Т.М. Таротина, Т.П. Вихрова // Проблемы сохранения здоровья и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Арктике: материалы научно-практической конференции с международным участием / под ред. С. А. Горбачева, Н. М. Фроловой. – СПб.: ООО «ИПК «Коста», 2017. – С. 225–231.

14. Оценка сочетанного влияния факторов малой интенсивности производственной среды и трудового процесса на работоспособность и ошибочность действий операторов высокотехнологичных энергетических комплексов / Н.Л. Вишневская, Л.В. Плахова, П. Поledняк, Б. Алес // Недропользование. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 183–190.

15. Визиренко А.Ф., Визиренко Н.А. Сочетанное воздействие вредных производственных факторов на фоне измененного функционального состояния организма работника // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 5. – С. 181–183.

16. Заболевания сердечно-сосудистой системы у рабочих основных профессий нефтедобывающей промышленности / Г.Г. Гимранова, А.Б. Бакиров, Э.Р. Уразаева, С.А. Галлямова // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2009. – № 1 (65). – С. 68–72.

17. Оценка профессиональных рисков здоровью операторов нефтехимического производства и их физиолого-гигиеническая обусловленность / С.В. Мовергоз, Н.П. Сетко, А.Г. Сетко, Е.В. Булычева // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 1002–1007.

18. Грунско́й Т.В., Бердник А., Бердник М.М. Гигиеническая оценка риска развития профзаболеваний у работников, занятых термошахтной добычей нефти // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 85–100.

Особенности иммунного статуса у работников горнодобывающего предприятия в условиях воздействия химических факторов производственной среды

Ю.А. Челакова

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Проведено обследование 157 работников в группе наблюдения (основное производство) и 78 – в группе сравнения (администрация), занятых на горнодобывающем предприятии. Химический анализ биосред позволил установить избыточную контаминацию

формальдегидом (кровь) и гексаном (моча) у работников основного производства. Иммунологический анализ выявил у обследуемого контингента группы наблюдения активацию гуморального (повышенная специфическая сенсибилизация) и клеточного иммунитета (CD95+), а также повышенный уровень васкуло-эндотелиального фактора роста (VEGF). Выявленные изменения сопряжены с формированием у работников калийного предприятия иммунологического стресса, нарушающего гомеостатичность иммунных и адаптивных процессов, и характеризуются наличием достоверного риска нарушений иммунной регуляции ($RR = 1,54-2,67$), ассоциированного с содержанием гексана и формальдегида в биосредах.

Ключевые слова: работники, формальдегид, гексан, сенсибилизация, иммунный статус, горнодобывающая промышленность.

Показатель профессиональной заболеваемости для предприятий по добыче полезных ископаемых занимает второе место среди других видов экономической деятельности [1].

Работа на предприятии по добыче и переработке калийных солей сопряжена с тяжелыми условиями труда, что обусловлено не только особенностью микроклиматических условий рабочей зоны (шум, вибрация, высокая влажность и температура), но и наличием вредных химических веществ (ксенобиотиков), используемых в производстве (гептан, гексан, формальдегид) [2, 3]. Вредные химические соединения оказывают токсическое и стрессорное влияние на организм работников. Данные факторы риска в комплексе негативно модифицируют иммунную систему организма, повышая при этом чувствительность к развитию инфекционных заболеваний, реализуют предрасположенность к развитию патологии неинфекционной природы [4].

Комбинированное воздействие вредных производственных факторов на организм работников обуславливает необходимость комплексного подхода к улучшению условий труда, профилактике производственно обусловленных заболеваний и снижению профессиональных рисков [5].

Цель работы – оценка особенностей иммунного ответа у работников калийного предприятия горнодобывающей промышленности, подверженных длительной экспозиции формальдегидом и гексаном.

Материалы и методы. Выполнено углубленное обследование состояния здоровья 235 мужчин и женщин, работающих на предприятии горнодобывающей промышленности.

В группу наблюдения вошли 157 человек (125 женщин, 32 мужчины) в возрасте $42,8 \pm 9,6$ лет, осуществляющих трудовую деятельность во вредных условиях труда (класс 3.1–3.2): химический фактор, шум, вибрация, тяжесть трудового процесса, психоэмоциональное напряжение.

В группу сравнения вошли 78 человек (61 женщина, 17 мужчин) в возрасте $44,2 \pm 9,8$ года, работающих в административной части компании и осуществляющих трудовую деятельность вне воздействия вредных производственных факторов.

Исследование биосред (моча) на содержание гексана выполнялось методом анализа равновесной паровой фазы на газовом хроматографе «Кристалл-5000» на капиллярной колонке HP-FFAP с детектором ионизации пламени в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.764-99 [6].

Исследование крови на содержание формальдегида выполнялось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе «Agilent» с диодно-матричным детектором в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.2111-06 [7].

Содержание специфических IgE к формальдегиду и IgG к гексану определяли в аллергосорбентном тесте с ферментной меткой.

Определение в сыворотке крови цитокинов (VEGF) определяли с помощью иммуноферментного анализа тест-системы фирмы «Вектор-Бест» (Россия) на анализаторе «TECAN Sunrise» (Австрия).

Относительное количество популяций и субпопуляций лимфоцитов определяли с помощью флуоресцентно меченых моноклональных антител, связывающихся с определенными CD-рецепторами: CD95+. Анализ проводили на проточном цитофлуориметре BD FACSCalibur™ (США), сбор и обработку цитометрических данных – с использованием программного обеспечения CellQuestPro и MultiSET.

Статистический анализ данных осуществляли с помощью программы Statistica 6.0 (StatSoft, США). Для статистической обработки результатов исследования применялся метод описательной статистики (t-критерий Стьюдента), результаты логистического моделирования представлены в виде коэффициента детерминации (R^2), указывающего долю вариабельности зависимой переменной, критерия Фишера (F), константы (b_0), коэффициента регрессии (b_1) и статистической значимости модели (p). Для оценки связи исследуемых ответов с воздействием факторов рассчитывали отношение шансов (OR) и 95%-ный доверительный интервал (CI) для отношения шансов. Для оценки развития нарушений в условиях воздействия химических факторов был рассчитан относительный риск (RR). Достоверность отличий считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты. По результатам химико-аналитических исследований установлено превышение фонового уровня ($0,018 \text{ мг/дм}^3$) содержания формальдегида в крови работников группы наблюдения в $2,28$ раз ($0,041 \pm 0,0039 \text{ мг/дм}^3$). При этом установлено, что средняя концентрация формальдегида в крови работников группы наблюдения выше, чем в группе сравнения ($0,027 \pm 0,0076 \text{ мг/дм}^3$), в $1,52$ раза ($p \leq 0,05$). Также в моче работников группы наблюдения установлена кратность превышения относительно группы сравнения по гексану в $1,23$ раза ($p \leq 0,05$).

Достоверно повышен уровень специфической сенсибилизации к формальдегиду у $42,7 \%$ работников группы наблюдения относительно референтного интервала ($p \leq 0,05$). Повышен уровень специфической сенсибилизации к гексану и формальдегиду по отношению к группе сравнения в $2,94$ и $3,4$ раза соответственно ($p \leq 0,05$) (таблица).

Иммунологические показатели у работников
горнодобывающей промышленности

Показатель	Референтный интервал	Группа наблюдения (n = 157) M ± m	Группа сравнения (n = 78) M ± m	Достоверность межгрупповых различий, p
IgG спец. к гексану, усл. ед.	0–0,1	0,097 ± 0,012	0,033 ± 0,010	0,000
IgE спец. к формальдегиду, ME/мл	0–0,15	0,187 ± 0,017	0,055 ± 0,031	0,000
CD3+CD95+–лимфоциты, отн., %	35–45	41,510 ± 2,231	34,267 ± 2,355	0,027
CD3+CD95+–лимфоциты, абс., 10 ⁹ /дм ³	0,63–0,97	0,904 ± 0,043	0,774 ± 0,049	0,047
VEGF, пг/мл	10–700	341,619 ± 17,47	283,156 ± 21,146	0,034

Оценка отношения шансов продемонстрировала связь гаптенной нагрузки с повышением концентрации IgG специфического к гексану ($OR = 3,91$; 95% $CI = 1,81–8,43$) и IgE специфического к формальдегиду ($OR = 4,09$; 95% $CI = 2,05–8,18$) у работников группы наблюдения. В результате проведенной оценки относительного риска развития нарушений в условиях избыточной контаминации гексаном и формальдегидом установлено, что у работников группы наблюдения определяется повышенный риск развития специфической сенсибилизации к гексану ($RR = 2,93$) и формальдегиду ($RR = 2,77$).

По результатам фенотипирования лимфоцитов у работников группы наблюдения была установлена повышенная экспрессия рецептора клеточной гибели CD95⁺ (абсолютных – в 1,17 раз, относительных – в 1,21 раз) относительно группы сравнения ($p \leq 0,05$).

В результате проведенной оценки относительного риска развития нарушений в условиях избыточной контаминации гексаном и формальдегидом установлено, что у работников группы наблюдения отмечается повышенный риск гиперактивации абсолютных ($RR = 1,54$) и относительных CD95⁺ ($RR = 2,67$). В результате логистического моделирования установлена статистически значимая вероятностная причинно-следственная связь между увеличением концентрации формальдегида в крови и повышением концентрации относительных CD95⁺ ($b_0 = -2,12$; $b_1 = 22,16$; $R^2 = 0,31$; $F = 96,82$; $p = 0,000$).

Уровень васкуло-эндотелиального фактора роста VEGF был позитивным у обследованных работников группы наблюдения (5,9 %), при этом относительно группы сравнения кратность превышения составила 1,21 раз ($p \leq 0,05$).

При этом относительный риск развития негативных процессов, ассоциированных с избыточной контаминацией гексаном и формальдегидом, по критерию содержания VEGF составляет 2,24 ($RR = 2,24$). В результате логистического моделирования установлена статистически значимая вероятностная причинно-следственная связь между увеличением концентрации гексана в моче и повышением концентрации VEGF ($b_0 = -3,59$; $b_1 = 187,03$; $R^2 = 0,48$; $F = 173,76$; $p = 0,000$), а также увеличением концентрации формальдегида в крови и повышением концентрации VEGF ($b_0 = -3,3$; $b_1 = 8,3$; $R^2 = 0,07$; $F = 15,09$; $p = 0,000$).

Заключение. По результатам проведения сравнительной оценки иммунологического статуса работников калийного предприятия горнодобывающей промышленности, подверженных воздействию гексана и формальдегида, установлена избыточная контаминация формальдегидом (кровь) и гексаном (моча) у работников основного производства, одновременно отмечается повышенная экспрессия рецептора клеточной гибели CD95+, что отражает риск наступления нарушений регуляции апоптоза и возникновения воспалительных и аутоиммунных процессов. Повышенный уровень эндотелиального фактора роста VEGF ($RR = 2,24$) в сочетании с избыточной биоконтаминацией васкулотропных поллютантов гексаном и формальдегидом увеличивает вероятность развития эндотелиальных нарушений. Полученные данные указывают на формирование активации иммунного ответа и характеризуются наличием достоверного риска нарушений иммунной регуляции ($RR = 1,54-2,67$). Что в дальнейшем может привести к трансформации и формированию аутоиммунных и иммунодефицитных состояний. Полученные результаты позволяют рекомендовать комплекс индикаторных иммунологических показателей (VEGF, CD95+, специфические иммуноглобулины) в качестве маркерных для решения задач ранней диагностики развития болезней, связанных с условиями труда у работников предприятия по производству калийных удобрений, подверженных экспозиции формальдегидом и гексаном.

Список литературы

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.
2. Хаитов Р.М., Игнатъева Г.А., Сидорович И.Г. Иммунология. Норма и патология. – М.: Медицина, 2010. – С. 215–240.
3. Dogan A.L. Biology and genetics of breast cancer // *Breast Disease*. – Springer International Publishing. – 2016. – P. 145–160.
4. Особенности иммуногенетических показателей у работников предприятия цветной металлургии / О.В. Долгих, А.В. Кривцов, Т.С. Лыхина [и др.] // *Гигиена и санитария*. – 2015. – Т. 94 (2). – С. 54–57.
5. Приоритетные вопросы медицины труда в производстве и обработке сплавов цветных металлов / О.Ф. Рослый, Е.И. Лихачева, Л.Я. Тартаковская [и др.] // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2004. – № 9. – С. 23–26.
6. МУК 4.1.764-99. Газохроматографический метод количественного определения предельных (гексан, гептан) и ароматических (бензол, толуол, этилбензол, о-, м-, п-ксилол) углеводородов в биосредах (моча) [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039011?section=text> (дата обращения: 12.07.2025).
7. МУК 4.1.2111-06. Измерение массовой концентрации формальдегида, ацетальдегида, пропионового альдегида, масляного альдегида и ацетона в пробах крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [Электронный ресурс] // Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200065243?section=text> (дата обращения: 12.07.2025).

Особенности полиморфизма генов детоксикации и антиоксидации у работников химической промышленности с онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы

А.В. Ярома

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»,
г. Пермь, Россия

Исследование посвящено изучению вероятной роли вариантных аллелей генов детоксикации и антиоксидации в развитии нарушений здоровья у работников химической промышленности с онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы (ГБС) в условиях контаминации биосред азотсодержащими соединениями. Установлено превышение фоновых уровней нитратов и нитритов в биосредах (моча), а также уровня специфических антител к нитрозодиметиламину у работников основного производства с онкопролиферативными заболеваниями ГБС. Анализ полиморфизма генов *GPX* (rs713041) и *GSTP1* (rs1695) показал увеличение риска формирования негативных эффектов, ассоциированных с областью компетенции генов детоксикации 2 фазы и антиоксидантной защиты.

Ключевые слова: работники, нитраты, нитриты, ген *GPX*, ген *GSTP1*.

Онкопролиферативные заболевания гепатобилиарной системы (ГБС) представлены новообразованиями печени, желчного пузыря и желчными протоками. Особенности данного типа рака являются поздняя диагностика и плохой прогноз. Из-за высокого процента смертности людей от этого вида онкологии усиленно продолжают исследования, направленные на уточнение роли отдельных этиологических факторов патогенеза [1].

Нитрозамины, образующиеся в процессе распада нитратов и нитритов, признаны одними из приоритетных токсикантов, утвержденных Международной организацией по исследованию рака (IARC) и Агентством по охране окружающей среды (США).

В ряде исследований сообщается, что нитрозамины могут быть индукторами канцерогенеза в органах ГБС [2]. Продукты распада нитратов влияют на гладкие мышцы желчного пузыря и желчных протоков, нарушая отток желчи, вследствие чего изменяется барьерная функция эпителиальной выстилки желчных протоков [3]. При интоксикации печени нитратами и нитритами наблюдается нарушение балочной структуры, изменение количества двух- и многоядерных гепатоцитов, выраженность сосудистых изменений [4].

Ранее учеными приводились данные о мутагенности нитратов и нитритов в отношении трансформации ДНК [5]. В исследовании Н. Zhang и и др. показано, что даже низкие концентрации нитрозаминов в печени способны нарушить липидный гомеостаз, следствием чего является повреждение эндоплазматического ретикулума и ингибирование синтеза белка [6].

Постоянный процесс повреждения и регенерации гепатоцитов ведет к геномным aberrациям и мутациям, способствующим развитию гепатоцеллюлярной карциномы [7].

Ферменты глутатиона *GST* принимают участие в выведении из организма реактивных электрофильных метаболитов, синтезирующихся в процессе окисления проканцерогенов. При варианте Ile105Val продуцируется фермент с пониженной активностью, что увеличивает чувствительность к воздействию канцерогенов и токсинов (в частности, к азотсодержащим соединениям) [8].

Глутатионпероксидаза принимает участие в восстановлении липидных гидропероксидов до нетоксичных липидных спиртов [9]. Ингибирование *GPX4* приводит к накоплению липидных пероксидов – триггера ферроптозной гибели клеток [10]. Рядом авторов показано повышение экспрессии гена *GPX* в опухолевых клетках [11, 12].

Актуальным является поиск риск-ассоциированных полиморфных вариантов генов, связанных с развитием онкопролиферативных заболеваний на фоне экспозиции азотсодержащими соединениями (в том числе нитрозаминами), выявление которых в досимптоматический период позволит назначить своевременное лечение и тем самым предотвратить процесс малигнизации и метастазирования опухолей ГБС.

Цель работы – оценка полиморфизма генов глутатионпероксидазы (*GPX C718T*) и глутатион *s*-трансферазы (*GSTP1 Ile105Val*) у работников химической промышленности с выявленными онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы.

Материалы и методы. Проведено обследование работников химического производства в количестве 82 человек в возрастном диапазоне от 22 до 64 лет. Группа наблюдения – 38 человек (возраст – $42,5 \pm 3,2$ года) – характеризовалась наличием новообразований печени, желчного пузыря и протоков (МКБ-10: D37.6); группа сравнения представлена 44 условно здоровыми работниками в возрасте $41,6 \pm 2,8$ года.

Измерение наличия азотсодержащих соединений (NO , NO_2 , NH_3) в воздухе рабочей зоны осуществлялось фотометрическим методом с помощью МВИ. МН 5910-2017 «Массовая концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны. Методика выполнения измерений фотометрическим методом». Содержание нитратов и нитритов в биосредах (моча) определяли методом капиллярного электрофореза на газовом хроматографе Agilent. Уровень специфической сенсибилизации (IgG специфический к нитрозодиметиланину) оценивался аллергосорбентным методом ИФА на приборе Elx808 BioTEC. Полиморфизм исследуемых генов *GPX rs713041*, *GSTP1 rs1695* определялся методом ПЦР РВ на амплификаторе BioRAD CFX96.

Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью программ Statistica 12.0 (StatSoft Inc, США) и Microsoft Excel 2013. Определяли среднее значение ($\bar{X}$) и его стандартное отклонение (SD). Сравнение средних осуществлялось методом *t*-критерия Стьюдента. При уровне значимости более 95 % ($p < 0,05$) отличия считали достоверными.

Результаты и их обсуждение. По результатам проведения химико-аналитических исследований установлено отсутствие превышений ПДК_{р.з.} содержания NH_3 (до 20 мг/м³) и NO_2 (до 5 мг/м³).

По результатам сравнительной оценки содержания в биосредах (моча) нитратов и нитритов, а также IgG специфического к нитрозодиметиламину установлено превышение фоновых уровней и значений группы сравнения без достижения уровней достоверности ($p > 0,05$). При этом показатели специфической сенсибилизации характеризовались более высоким ответом в группе наблюдения относительно группы сравнения (в 1,3 раза) (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Сравнительная оценка уровня контаминации биосред (моча) нитратами и нитритами и содержания специфических реагинов к нитрозаминам

Показатель	Фоновый уровень	Группа наблюдения (X ± SD)	Группа сравнения (X ± SD)	$p(t)$
Нитраты (мКапЭ) [моча], мг/дм ³	< 43,7	63,74 ± 8,49	61,19 ± 14,34	0,76
Нитриты (мКапЭ) [моча], мг/дм ³	нет	1,218 ± 0,512	1,159 ± 0,414	0,86
IgG к нитрозодиметиламину, у.е.	0–0,1	0,27 ± 0,08	0,21 ± 0,12	0,37

П р и м е ч а н и е: $p(t)$ – уровень значимости по t-критерию Стьюдента.

По результатам оценки генетического статуса (табл. 2) установлено, что для работников группы наблюдения отмечается достоверное повышение частоты вариантного Т аллеля ($OR = 1,91$, CI: 0,98–3,72; $RR = 1,45$, CI: 1,15–1,83; $p < 0,05$) и ТТ генотипа ($OR = 9,57$, CI: 1,12–81,93; $p < 0,05$) гена глутатионпероксидазы *GPX* C718T в 1,5 раза, выступающих как фактор риска развития нарушений, ассоциированных с областью компетенции гена антиоксидантной защиты [13].

Установлено достоверное повышение частоты А дикого аллеля ($OR = 2,22$, CI: 1,13–4,37; $RR = 1,55$, CI: 1,25–1,91; $p < 0,05$) и АА генотипа ($OR = 5,60$, CI: 1,11–28,26; $p < 0,05$) гена глутатион s-трансферазы *GSTP1* Ile105Val в 1,7 и 4,6 раза соответственно (табл. 2), ассоциированных с областью компетенции гена детоксикации 2 фазы [14, 15].

Т а б л и ц а 2

Сравнительная оценка частот аллелей и генотипов генов детоксикации и антиоксидации в исследуемых группах

Группа	Группа наблюдения		Группа сравнения	
ген	GPX	GSTP1	GPX	GSTP1
полиморфизм	C718T	Ile105Val	C718T	Ile105Val
rs	rs713041	rs1695	rs713041	rs1695
дикая гомозигота	CC	AA	CC	AA
гетерозигота	CT	AG	CT	AG
вариантная гомозигота	TT	GG	TT	GG

Группа	Группа наблюдения		Группа сравнения	
дикая гомозигота, количество	13,00	16,00	20,00	26,00
гетерозигота, количество	17,00	14,00	21,00	16,00
вариантная гомозигота, количество	7,00	8,00	1,00	2,00
всего генотипов, количество	37,00	38,00	42,00	44,00
дикий аллель, количество	43,00	46,00	61,00	68,00
вариантный аллель, количество	31,00	30,00	23,00	20,00
дикая гомозигота, %	35,14	42,11	47,62	59,09
гетерозигота, %	45,95	36,84	50,00	36,36
вариантная гомозигота, %	18,92*	21,05*	2,38	4,55
дикий аллель, %	58,11	60,53	72,62	77,27
вариантный аллель, %	41,89	39,47*	27,38	22,73
HWE	0,12	1,99	2,78	0,05
<i>p</i>	0,7322	0,1581	0,0954	0,8149

Примечание: * – достоверное различие частот аллелей и генотипов группы наблюдения от группы сравнения.

Таким образом, по результатам проведенного исследования установлено, что у работников с новообразованиями ГБС, в отличие от условно здоровых работников, отмечается повышенный уровень биоэкспозиции нитратами и нитритами, формирующий повышенный специфический иммунный ответ (IgG спец. к нитрозадиметилмину), а особенности полиморфизма генов второй фазы детоксикации и антиоксидации отражают риск ($RR = 1,45-1,55$) нарушений, ассоциированных с областью компетенции генов, в том числе риск малигнизации вариантных аллелей генов детоксикации и антиоксидации в развитии нарушений здоровья у работников химической промышленности с онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы (ГБС) в условиях контаминации биосред азотсодержащими соединениями.

Выводы. Установлены особенности полиморфизма генов детоксикации и антиоксидации у работников химической промышленности с онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы. Показано увеличение риска ($RR = 1,45-1,55$) формирования негативных эффектов, ассоциированных с областью компетенции генов *GPX* (rs713041) и *GSTP1* (rs1695), у работников предприятия химической промышленности с новообразованиями ГБС в условиях хронической низкоуровневой биоэкспозиции нитратами и нитритами, верифицированной избыточности специфического IgG к нитрозодиметилмину (в 1,3 раза) относительно показателей условно здоровых работников.

Список литературы

1. Характеристика злокачественных новообразований гепатобилиарной системы в когорте работников, подвергшихся профессиональному облучению / Г.В. Жунтова, Т.В. Азизова, М.В. Банникова, Г.В. Сычугов // Уральский медицинский журнал. – 2022. – Т. 21, № 1. – С. 4–12. DOI: 10.52420/2071-5943-2022-21-1-4-12

2. Анализ эпидемиологических исследований взаимосвязи холангиокарциномы и печеночных трематодозов / А.Е. Ковширина, О.С. Федорова, Ю.В. Ковширина, С.В. Онищенко, С.С. Таслицкий, Л.Л. Катанасова, А.В. Чижилов, И.А. Татауров, Л.М. Огородова // Бюллетень сибирской медицины. – 2020. – № 1. – С. 150–159.
3. Лупанов В.П. Применение нитратов у больных стабильной стенокардией // РМЖ. – 2006. – № 20. – С. 1406.
4. Абзалова Ш.Р., Икрамова С.Х. Морфологические изменения в печени при интоксикации нитритами и нитратами в эксперименте // Молодой ученый. – 2017. – № 16 (150). – С. 15–17.
5. Генотоксическое действие нитрозодиметиламина на соматические и генеративные клетки мышей / А.В. Ловинская, С.Ж. Колумбаева, О.Л. Коломиец [и др.] // Экологическая генетика. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 34–41. DOI: 10.17816/ecogen15334-41
6. Dysregulation of fatty acid metabolism associated with esophageal inflammation of ICR mice induced by nitrosamines exposure / H. Zhang, C. Zhao, Q. Liu, Y. Zhang, K. Luo, Y. Pu [et al.] // Environ. Pollut. – 2022. – Vol. 297. – P. 118680. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118680
7. Современные представления о механизмах негативного воздействия N-нитрозаминов на здоровье человека и специфических маркерах инициируемых ими патологических эффектов (аналитический обзор) / О.Ю. Устинова, И.В. Лешкова, Е.М. Власова, А.А. Воробьева // Гигиена и санитария. – 2024. – Т. 103, № 5. – С. 424–432. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-5-424-432
8. Каримов Х.Я., Ассерова Ю.Ю. Роль полиморфных генов GSTM и GSTT в онкогенезе и возникновении гематологических новообразований // Вопросы онкологии. – 2020. – № 5. – С. 472–478.
9. Транскрипционный фактор Zeb1 и его роль в процессах метастазирования и онкогенеза / Д.Ю. Поздняков, О.Ю. Шувалов, Н.А. Барлев, А.Г. Миттенберг // Цитология. – 2019 – Т. 61, № 11. – С. 915–925. DOI: 10.1134/S0041377119110087
10. Гаранин А.А., Богачева Т.Е., Громова О.А. Ферроптоз и старение // Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2025. – № 1. – С. 17–26. DOI: 10.37489/2587-7836-2025-1-17-26
11. GPX4 suppresses ferroptosis to promote malignant progression of endometrial carcinoma via transcriptional activation by ELK1 / S. Wei, Z. Yu, R. Shi, L. An, Q. Zhang, Q. Zhang, T. Zhang, J. Zhang, H. Wang // BMC Cancer. – 2022. – P. 881. DOI: 10.1186/s12885-022-09986-3
12. GPX4 transcriptionally promotes liver cancer metastasis via GRHL3/PTEN/PI3K/AKT axis / R. Pan, Z. Zhao, D. Xu, C. Li, Q. Xia // Transl. Res. – 2024. – Vol. 271. – P. 79–92. DOI: 10.1016/j.trsl.2024.05.007
13. Baroudi O., Benammar-Elgaai A. Involvement of genetic factors and lifestyle on the occurrence of colorectal and gastric cancer // Critical reviews in oncology/hematology. – 2016. – Vol. 107. – P. 72–81. DOI: 10.1016/j.critrevonc.2016.08.014
14. Genetic polymorphisms in GSTM1, GSTT1, GSTP1, GSTM3 and the susceptibility to gallbladder cancer in North India / S.N. Pandey, M. Jain, P. Nigam, G. Choudhuri, B. Mittal // Biomarkers: biochemical indicators of exposure, response, and susceptibility to chemicals. – 2006. – Vol. 11, № 3. – P. 250–261. DOI: 10.1080/13547500600648697

15. Особенности антиоксидантной системы и полиморфизмов некоторых генов-кандидатов у пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени / И.В. Лапинский, Е.Б. Авалуева, И.Г. Бакулин, В.А. Дадали, А.А. Топанова, Е.В. Сказываева, А.В. Пушкина // Фарматека для практикующих врачей. – 2018. – № 9. – С. 48–55. DOI: 10.18565/pharmateca.2018.9.48-55

Авторский указатель

Аброськина Н.В.	23	Маглакелидзе Д.Г.	196
Аликина И.Н.	259	Масайлова Л.А.	281
Андреева И.С.	30	Механтьев И.И.	281
Барг А.О.	139	Минигалиева И.А.	185
Батенев Н.А.	125, 164	Молок О.А.	200
Батенева В.А.	185	Мясников И.О.	94
Бачина А.В.	42	Насонова А.С.	82
Валина С.Л.	289, 293, 298	Недошитова А.В.	203
Вдовина Н.А.	263	Нестерова О.А.	17
Воронова А.В.	7	Нехаенко Н.Е.	281
Галкин Ю.А.	35	Никифорова Н.В.	150
Ганич Т.С.	303	Никогосян К.М.	185
Гейн В.Л.	234	Николаева А.Е.	203
Глебова Л.А.	42	Никоношина Н.А.	211
Глухих М.В.	49	Новикова Ю.А.	94
Говязина Т.Н.	106	Нурисламова Т.В.	217, 246
Горб Д.А.	289	Отавина Е.А.	222
Горбунова С.А.	284	Ошева Л.В.	293
Горбушина О.Ю.	127	Пескова Е.В.	226
Гречишкина Д.И.	55	Позднякова М.А.	316
Дианова Д.Г.	234	Полякова Л.В.	316
Долгих О.В.	211, 222, 239, 263	Пономарев А.Л.	200
Емельянова Е.К.	30	Посохова Е.Р.	78
Жукова Е.С.	316	Рудакова И.П.	234
Зверева Л.А.	145	Рязанова Е.А.	270
Зеленкин С.Е.	132	Сафатов А.С.	30
Зорина А.С.	145	Свинцова П.Д.	98
Зубарева О.В.	23	Седусова Э.В.	154
Ивашова Ю.А.	298	Сенокосова О.О.	234
Исаев Д.С.	60	Склизкова Н.А.	94
Казакова О.А.	239	Смирнова С.С.	160
Карнажицкая Т.Д.	246	Стагильская Ю.С.	160
Князев Д.К.	23	Старкова К.Г.	239
Ковшов А.А.	60	Старчикова М.О.	246
Колмогорцева Д.Ю.	217	Степанков М.С.	251
Кольдибекова Ю.В.	307	Степанова О.А.	125, 164
Коркин А.О.	274	Степанян А.А.	60
Корнилицына М.Д.	139	Суворов Д.В.	132
Котелевец Е.П.	82	Сутункова М.П.	185
Крутянский И.И.	69	Суханов М.А.	167
Крылов А.А.	145	Сухих Е.А.	203
Кузьмин К.О.	125, 164	Сысоева К.С.	246
Ласточкина Г.В.	281	Тетерина Д.М.	307
Левина К.А.	289	Токаревич Н.К.	55
Легостаева Т.А.	239	Толмачёва М.И.	85
Лир Д.Н.	284, 289	Тотменина О.Д.	30
Логинова О.П.	193	Федоров В.Н.	94
Лукьянова А.Н.	42	Фокин В.А.	322
Лызенко И.С.	78	Хасанова А.А.	173

Худорожкова П.Ю.	270	Ширяева М.А.	114
Цинкер М.Ю.	98	Штина А.Д.	298
Челакова Ю.А.	326	Штина И.Е.	284, 293, 298
Четверкина К.В.	103	Щелчкова Е.А.	270
Шалаганова В.В.	316	Якушева Е.А.	217
Шебырева М.А.	284	Ярома А.В.	331
Шимова М.А.	106		

Содержание

Раздел I. Социально-гигиенический мониторинг, цифровизация и моделирование: современные методы и практическое применение для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения

А.В. Воронова

Мониторинг атмосферного воздуха как индикатор достижения целевых показателей
ФП «Чистый воздух» 7

О.А. Нестерова

Нейросетевое моделирование как актуальное направление совершенствования
аналитического обеспечения социально-гигиенического мониторинга..... 17

Н.В. Аброськина, О.В. Зубарева, Д.К. Князев

Качество атмосферного воздуха и риск здоровью населения крупных промышленных
городов Волгоградской области..... 23

И.С. Андреева, О.Д. Тотменина, Е.К. Емельянова, А.С. Сафатов

Полирезистентность к антибиотикам бактерий, выделенных из аэрозолей
атмосферного воздуха Новосибирской области..... 30

Ю.А. Галкин

О результатах мониторинга вендинговой торговли продовольственными товарами в
городе Белгороде 35

Л.А. Глебова, А.В. Бачина, А.Н. Лукьянова

Оценка влияния качества питьевой воды на здоровье населения Кемеровской
области – Кузбасса..... 42

М.В. Глухих

Анализ последствий влияния эпидемического процесса COVID-19 на медико-
демографическую ситуацию 49

Д.И. Гречишкина, Н.К. Токаревич

Эпидемическая ситуация по геморрагической лихорадке с почечным синдромом в
Северо-Западном федеральном округе в 2014–2024 гг. 55

Д.С. Исаев, А.А. Степанян, А.А. Ковшов

Гигиеническая оценка качества воды р. Вирма – источника водоснабжения села
Ловозеро Мурманской области 60

И.И. Крутянский

Экспериментальная оценка эмиссии субмикронных частиц на модели Урского
отвала горнопромышленных отходов 69

И.С. Лызенко, Е.Р. Посохова

Анализ эпидемиологической ситуации по бешенству в Волгоградской области в
2018–2024 гг. и меры профилактики 78

А.С. Насонова, Е.П. Котелевец

Диагностика и мониторинг ВИЧ-инфекции в Рязанской области 82

М.И. Толмачёва

Клещевой вирусный энцефалит в Байкальском регионе: современная ситуация и эпидемиологический риск в разрезе административно-территориальных единиц..... 85

В.Н. Федоров, Ю.А. Новикова, Н.А. Склизкова, И.О. Мясников

Опыт проведения оценки влияния воды водных объектов, используемых в рекреационных целях, на здоровье населения..... 94

М.Ю. Цинкер, П.Д. Свинцова

Количественная оценка поступления загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в организм человека на основе математической модели дыхательной системы 98

К.В. Четверкина

К вопросу о необходимости использования современных методик количественной оценки неканцерогенного риска для обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия 103

М.А. Шимова. Научный руководитель – к.м.н. Т.Н. Говязина

Характеристика заболеваемости взрослого населения Пермского края болезнями системы кровообращения по данным социально-гигиенического мониторинга, возможные факторы риска 106

М.А. Ширяева

Цифровой помощник для оценки рисков для здоровья при поступлении химических веществ с питьевой водой 114

Раздел II. Современные методы оценки и управления рисками здоровью населения, связанными с воздействием разнородных факторов среды обитания

Н.А. Батенев, О.А. Степанова, К.О. Кузьмин

Оценка риска для репродуктивной системы при воздействии агрохимиката, содержащего производное борной кислоты..... 125

О.Ю. Горбушина

Основные лабораторные и функциональные маркеры кардиологического статуса работников химического предприятия в условиях сочетанного воздействия производственных и непроизводственных факторов риска..... 127

С.Е. Зеленкин, Д.В. Суворов

К вопросу установления критериев безопасности новых видов пищевых продуктов при их вовлечении в оборот на территории России 132

М.Д. Корнилицына, А.О. Барг

Общественное восприятие рисков, связанных с изменением климата, в странах БРИКС (на материалах кросс-национального опроса) 139

А.А. Крылов, А.С. Зорина, Л.А. Зверева

К вопросу токсичности металлов и ПАУ, входящих в состав мелкодисперсных частиц атмосферного воздуха..... 145

Н.В. Никифорова

К вопросу выбора объектов контроля (надзора) для лабораторной оценки соответствия кулинарной продукции установленным требованиям 150

Э.В. Седусова

Анализ структуры и динамики нарушений требований в области защиты прав потребителей в сфере розничной торговли в Российской Федерации (2021–2024 гг.) 154

Ю.С. Стагильская

Управление рисками инфекций у родильниц: оценка вклада социальных факторов в формирование колонизации резистентными штаммами условно-патогенных микроорганизмов 160

О.А. Степанова, Н.А. Батенев, К.О. Кузьмин

Роль красного мяса в патогенезе колоректального рака..... 164

М.А. Суханов

Оценка зрелости системы управления рисками на этапе планирования контрольно-надзорной деятельности на примере Ульяновской области 167

А.А. Хасанова

Оценка интегральных уровней риска здоровью населения, формируемых в условиях совместного влияния метеорологических факторов и обусловленного ими химического загрязнения атмосферного воздуха 173

Раздел III. Актуальные наукоемкие химико-аналитические, молекулярно-генетические и биохимические методы исследования в мониторинге состояния среды обитания и здоровья населения

В.А. Батенева, К.М. Никогосян

Сравнительный анализ гендерных различий на поведенческие реакции крыс (поколения F1) при оценке отдаленных эффектов биопрофилактического комплекса против свинцовой интоксикации..... 185

О.П. Логинова

Совершенствование диагностики *C. difficile*-инфекции для предотвращения распространения возбудителя в стационаре..... 193

Д.Г. Маглакелидзе

Железооксидные магнитные сорбенты как твердая биофункциональная матрица для индикации возбудителя чумы в иммуноферментном анализе..... 196

О.А. Молок, А.Л. Пономарев

Опыт проведения измерений общей вибрации на грунте прилегающей к железнодорожным путям территории..... 200

А.Е. Николаева, Е.А. Сухих, А.В. Недошитова

Проверка правильности определения бериллия, кобальта, мышьяка, молибдена, кадмия, олова, сурьмы и свинца в крови методом ИСП-МС..... 203

<i>Н.А. Никоношина, О.В. Долгих</i> Маркеры запрограммированной клеточной гибели и полиморфизм гена <i>TNF (rs1800629)</i> у детей в условиях аэрогенного воздействия внешнесредовых химических факторов (на примере бенз(а)пирена)	211
<i>Т.В. Нурисламова, Е.А. Якушева, Д.Ю. Колмогорцева</i> Аналитический обзор методов контроля содержания жирных кислот в моче	217
<i>Е.А. Отавина, О.В. Долгих</i> Модифицированная бенз(а)пиреном и вакцинными антигенами экспрессия гена <i>HLA-DRA</i> в эксперименте <i>IN VITRO</i>	222
<i>Е.В. Пескова</i> Прогноз вероятных негативных эффектов при комбинированном воздействии химических веществ на основе протеомно-биоинформационного анализа	226
<i>О.О. Сенокосова, Д.Г. Дианова, В.Л. Гейн, И.П. Рудакова</i> Скрининговые исследования острой токсичности и противовоспалительной активности 5-арил-4-ароил-1-изобутил-3-гидрокси-3-пирролин-2-онов	234
<i>К.Г. Старкова, О.В. Долгих, Т.А. Легостаева, О.А. Казакова</i> Полиморфизм <i>Ile105Val</i> гена <i>GSTP1</i> , ассоциированный с развитием аллергических заболеваний у детей, в условиях биоэкспозиции ароматическими углеводородами (на примере бензола)	239
<i>М.О. Старчикова, Т.Д. Карнажицкая, Т.В. Нурисламова, К.С. Сысоева</i> Оптимизация параметров работы масс-спектрометрического детектора Exres L-Chrom MS для определения сульфаниламидов в воде.....	246
<i>М.С. Степанков</i> Сравнительная оценка клеточно-фагоцитарной активности дыхательных путей при экспозиции нано- и микрочастицами латуни в эксперименте	251
 Раздел IV. Фундаментальные и прикладные аспекты здоровья детей и подростков в новых условиях обучения, воспитания, образа жизни и иных факторов. Профилактика заболеваний	
<i>И.Н. Аликина</i> Иммунные нарушения, вовлекающие механизмы гиперчувствительности, у детей в условиях низкоуровневой аэрогенной экспозиции формальдегидом	259
<i>Н.А. Вдовина, О.В. Долгих</i> Особенности иммунного и нейроэндокринного статуса у подростков в условиях избыточной контаминации биосред ароматическими углеводородами	263
<i>Е.А. Рязанова, П.Ю. Худорожкова, Е.А. Щелчкова</i> Оценка средовых факторов в детских и подростковых организациях	270
<i>А.О. Коркин</i> Оценка выполнения санитарно-эпидемиологических требований к подбору ученической мебели в общеобразовательных организациях. Оценка возможных рисков развития заболеваний костно-мышечной системы у школьников, связанных с выбором различных типов ученической мебели.....	274

<i>Г.В. Ласточкина, И.И. Механтьев, Л.А. Масайлова, Н.Е. Нехаенко</i> Реализация комплекса мер регионального уровня, направленных на митигацию рисков избыточной массы тела и ожирения среди детского населения	281
<i>С.А. Горбунова, М.А. Шебырева, Д.Н. Лир, И.Е. Штина</i> Оценка фактического питания юных спортсменов-конькобежцев по продуктовому набору.....	284
<i>Д.А. Горб, К.А. Левина, Д.Н. Лир, С.Л. Валина</i> Пищевая и энергетическая ценность рационов питания юных спортсменов-конькобежцев.....	289
<i>И.Е. Штина, Л.В. Ошева, С.Л. Валина</i> Биоимпедансное исследование состава тела в оценке физического развития учащихся средней общеобразовательной школы.....	293
<i>И.Е. Штина, С.Л. Валина, Ю.А. Ивашова, А.Д. Штина</i> Зависимость показателей электрокардиографии покоя от антропометрических данных, возраста и пола у детей и подростков школьного возраста	298
 Раздел V. Современные подходы к профилактике профессиональных заболеваний и укреплению здоровья работающих	
<i>Т.С. Ганич</i> Особенности полиморфизма генов детоксикации и иммунной регуляции у работников химической промышленности с хроническим ринитом.....	303
<i>Ю.В. Кольдибекова, Д.М. Тетерина</i> Изменения показателей негативных эффектов у работников предприятия горнорудной промышленности в условиях воздействия производственной экспозиции металлами.....	307
<i>Л.В. Полякова, Е.С. Жукова, М.А. Позднякова, В.В. Шалаганова</i> Исследование окислительной напряженности крови профессиональных водителей автотранспорта различного возраста и стажа	316
<i>В.А. Фокин</i> К вопросу оценки профессионального риска при сочетанном воздействии производственных факторов	322
<i>Ю.А. Челакова</i> Особенности иммунного статуса у работников горнодобывающего предприятия в условиях воздействия химических факторов производственной среды	326
<i>А.В. Ярома</i> Особенности полиморфизма генов детоксикации и антиоксидации у работников химической промышленности с онкопролиферативными заболеваниями гепатобилиарной системы.....	331
Авторский указатель	337

Научное издание

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ – 2025

Материалы
всероссийской научно-практической интернет-конференции
молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора
с международным участием

(Пермь, 17–19 октября 2025 г.)

*Под редакцией профессора А.Ю. Поповой,
академика РАН Н.В. Зайцевой*

Художественное оформление обложки Е. Столярчук
Корректор А.П. Маркова
Компьютерная верстка Е.И. Галиевой

Подписано в печать 15.10.2025 г. Формат 70х100¹/₁₆.
Усл. печ. л. 27,95. Гарнитура Times New Roman. Заказ № 2962/1. Тираж 22 экз.

Сверстано и отпечатано в ООО «Издательский дом
«Типография купца Тарасова», г. Пермь, ул. Пушкина, 27,
тел.: 8 (342) 212-44-53, 212-94-96. E-mail: domtarasova@inbox.ru